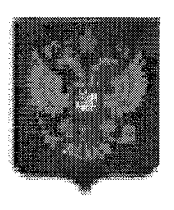


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(Минобрнауки России)

125993, ГСП-3, Москва, ул. Тверская, д. 11

Телефон: (495) 539-55-19 Факс: (495) 629-08-91 E-mail: info@mon.gov.ru

ПРОГНОЗ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА

Москва

Декабрь, 2013

ДМ-П8-5

Введение

Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (далее – долгосрочный прогноз) является одним из основных документов системы стратегического планирования развития Российской Федерации. Он определяет наиболее перспективные области развития науки и технологий на период до 2030 года, обеспечивающие реализацию конкурентных преимуществ страны. Долгосрочный прогноз формирует единую платформу для разработки долгосрочных стратегий, целевых программ, а также прогнозных и плановых документов среднесрочного характера.

При подготовке долгосрочного прогноза было использовано более двухсот информационных источников, в числе которых: аналитические исследования и прогнозы международных организаций, национальные прогнозы науки и технологий, прогнозы крупных корпораций и международных профессиональных ассоциаций, документы стратегического характера, отражающие долгосрочные перспективы развития российской экономики и ее отдельных секторов, международные и российские базы научных журналов, патентной и статистической информации.

Экспертная база долгосрочного прогноза охватывает более двухсот организаций и свыше двух тысяч ведущих российских и зарубежных экспертов, включая представителей научных центров, вузов, бизнеса, технологических платформ, инновационных территориальных кластеров.

Термины, используемые для целей настоящего долгосрочного прогноза

Вызов – крупная проблема социально-экономического, научно-технологического, экологического или иного характера, требующая принятия комплексных мер, направленных на ее решение на национальном или глобальном уровне.

Окно возможностей – возникновение ограниченной во времени ситуации, создающей условия для занятия значимых позиций на глобальных и внутренних рынках, технологических прорывов, интеграции в мировые цепочки создания добавленной стоимости, решения крупных социально-экономических проблем.

Перспективная продуктовая группа – группа инновационных товаров и услуг, объединенных одним или несколькими признаками (использование аналогичных

технологий производства, сходные функциональные свойства и области применения, общие каналы распределения, методы ценообразования и др.) и способных произвести максимальный экономический эффект.

Приоритетные направления развития науки и технологий – тематические направления научно-технологического развития межотраслевого (междисциплинарного) значения, способные внести наибольший вклад в обеспечение безопасности, ускорение экономического роста, повышение конкурентоспособности страны, решение социальных проблем за счет развития технологической базы экономики и наукоемких производств.

Перспективные направления задельных исследований – области науки, в рамках которых могут быть получены результаты, создающие долговременные конкурентные преимущества и имеющие широкий спектр возможных практических применений.

Особенности прогноза

Долгосрочный прогноз сформирован в разрезе приоритетных направлений развития науки, технологий и техники по следующим направлениям: информационно-коммуникационные технологии; науки о жизни (биотехнологии; медицина и здравоохранение); новые материалы и нанотехнологии; рациональное природопользование; транспортные и космические системы; энергоэффективность и энергосбережение.

Для каждого приоритетного направления с учетом мировых тенденций выделены вызовы и окна возможностей, определяющие перспективы его развития; проведено ранжирование по степени их влияния на Россию. Далее определены инновационные рынки и перспективные группы продуктов и услуг, появление которых возможно в средне- и долгосрочной перспективе под действием мировых тенденций. Затем определены детальные приоритеты перспективных научных исследований, необходимые для создания выделенных продуктов и услуг и ответов на вызовы и окна возможностей.

Долгосрочный прогноз был согласован с Министерством финансов Российской Федерации, Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федера-

ции, Министерством здравоохранения Российской Федерации, Министерством транспорта Российской Федерации, Министерством экономического развития Российской Федерации, Министерством промышленности и торговли Российской Федерации, Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерством энергетики Российской Федерации, Федеральным космическим агентством, Российской академией наук.

При формировании долгосрочного прогноза использованы материалы следующих организаций:

Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;

Центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования;

институтов государственных академий наук (Российская академия наук, Российская академия медицинских наук, Российская академия сельскохозяйственных наук);

отраслевых центров научно-технологического прогнозирования на базе ведущих вузов (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Московский физико-технический институт, Национальный исследовательский ядерный университет, Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Сибирский государственный медицинский университет, Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского);

исследовательских центров (НИЦ «Курчатовский институт», Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского, Крыловский государственный научный центр, Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева», и др.);

технологических платформ («Медицина будущего», «Глубокая переработка углеводородных ресурсов», «Высокоскоростной интеллектуальный транспорт», «Авиационная мобильность», «Национальная информационная спутниковая система», «Легкие и надежные конструкции» и др.).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) выступают одним из ключевых драйверов перехода к экономике, основанной на знаниях. Экспоненциальный рост технических характеристик, миниатюризация и снижение стоимости компонентов приводят к увеличению вычислительных мощностей и интеллектуальных возможностей техники, быстрой смене стандартов и технологических платформ информационных систем и сетей, соответствующих им товаров и услуг. Появление всепроникающих, интерактивных, персонализированных, сверхвысокоскоростных сетей, устройств и систем глобального масштаба способствует развитию мультимедийного контента и широкого спектра услуг. Одновременно усиливается значение глобальных инновационных сетей, позволяющих управлять жизненным циклом товаров и услуг.

Ускоренная эволюция ИКТ, с одной стороны, и их быстрое «моральное устаревание», с другой, стимулируют спрос на новую продукцию. Так, развитие облачных сетей, новых архитектур и принципов организации вычислений влечет за собой трансформацию программного обеспечения и инфраструктурных решений, привнося инновационные изменения в бизнес-стратегии предприятий.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: радикальная трансформация рынков ИКТ в условиях смены технологий компонентной базы (прекращение действия закона Мура, развитие новых материалов, фотоники и др.); усиление контроля над информацией в сети Интернет; рост киберпреступности и масштаба ее эффектов (технических сбоев и др.); увеличение дисбаланса между требованиями безопасности и личной свободой человека; повышение доли фриланс-разработчиков; обвал рынков информационных технологий и замедление «цифровой революции» в случае отставания освоения новых технологий электронной компонентной базы.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические: переход к экономике, основанной на знаниях; смещение центров разработки, компетенций и производства за пределы развитых стран; элек-

тронное правительство, электронные государственные и социально значимые услуги, унифицированное межведомственное взаимодействие; углубление кооперации в сфере ИКТ между университетами и коммерческими компаниями; развитие электронной коммерции, создание законодательных и технологических механизмов для электронных трансакций; использование более экономичных моделей ИТ-инфраструктуры; рост роли ИКТ в обеспечении деятельности государственного и муниципального управления; развитие рынка мобильных и социальных приложений, игр с высоким коммерческим потенциалом; рост ИКТ-специализаций и количества ИКТ-сотрудников в смежных отраслях экономики;

социальные и экологические: превращение ИКТ в значимый фактор повышения качества жизни людей с ограниченными возможностями; вовлечение граждан в управление; рост влияния ИКТ на социальные процессы в обществе, на культурное и психическое развитие человека; изменение характера и способа занятости работников; существенный рост негативного воздействия отрасли ИКТ на окружающую среду; расширение возможностей применения ИКТ в интересах охраны окружающей среды;

научно-технологические: исследования в области коммуникационных инфраструктур с терабитовыми скоростями передачи информации; защиты компьютерных инфраструктур; перспективных средств и программных систем защиты данных; языков и систем программирования, реализующих новые парадигмы; систем машинного обучения; новых принципов биометрической идентификации, обработки, интеграции и анализа мультимодальных биометрических данных; обеспечения полной совместимости контента в гетерогенных сетях, глобальной идентификации информационных объектов; создания компактных источников энергии для долговременного питания цифровых устройств массового применения; компонентов и устройств, существенно снижающих воздействие на здоровье человека; новых интерфейсов «человек – цифровая среда»; снижения энергозатрат при передаче и хранении информации; технологий высокоскоростной передачи информации (свыше 1 терабита в секунду); создания виртуальных офисов без снижения эффективности коллективной деятельности компаний, предприятий и др.; коллективного интеллек-

та; разработка эффективных форм представления информации, контента и знаний; формирование единой управляющей среды; конвергенция информационных платформ; миграция корпоративных приложений и персональной информации в Интернет с повышением требований к средствам их защиты; работа со сверхбольшими объемами данных; мультиязычные и мультимодальные системы извлечения и формализации знаний; открытые данные, создание и распространение наборов данных в машиночитаемом формате; эволюция Интернета («семантический веб», «Интернет вещей»); умные инфраструктуры; моделирование человеческого интеллекта, когнитивные модели сознания и поведения; разработка биоподобных и антропоморфных робототехнических устройств, развитие средств «технического» зрения; производство и поддержание функционирования суперкомпьютеров; облачные инфраструктуры, сети персональных компьютеров и мобильных устройств; рост доли мобильных устройств; развитие технологий и инфраструктуры выделенных центров предсказательного суперкомпьютерного моделирования; сети, реализующие новые принципы организации, в т.ч.: когнитивные, гибридные, адаптивные; обеспечение повсеместного высокоскоростного доступа к сетевой инфраструктуре; высокопроизводительные центры обработки данных; технологии дополненной реальности; технологии краудсорсинга; новые принципы, модели и процессы автоматизированного управления большими системами, организации вычислений; развитие платформ высокопроизводительных вычислений; разработка технологий распознавания и анализа голоса, фото, видео и других типов изображений и сложных медийных носителей информации; создание прорывных квантовых технологий; разработка новых подходов и технологий в микро- и нано- электронике.

Угрозы для России в указанной сфере: ускоренное формирование единого глобального информационного пространства; обострение «цифрового неравенства»; неготовность к широкомасштабному предоставлению гражданам медицинских и иных социальных услуг с использованием ИКТ; возможность использования потенциала ИКТ в целях подрыва национальной безопасности, нарушения государственного и общественного порядка; необходимость обеспечения эффективного (защищенного) документооборота; неготовность к массовому применению технологий

виртуальной реальности; растущая незащищенность личной жизни и личного жизненного пространства.

Перспективные рынки, продукты и услуги

«Горизонтальный» характер рассматриваемой сферы способствует внедрению как инфраструктурных, так и специфических отраслевых решений, которые в долгосрочном периоде должны обеспечить наибольшую динамику роста в профильном производстве – индустрии ИКТ (телекоммуникационное и ИТ-оборудование, программное обеспечение, ИТ-услуги), а также в промышленности, энергетике, здравоохранении, на транспорте и т. д.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Телекоммуникационное и ИТ-оборудование: компактные источники энергии для долговременного (недели, месяцы) питания цифровых устройств массового применения; метаматериалы и программное обеспечение для обработки и передачи изображений со сверхразрешением; фотонные устройства и компоненты; новые поколения мобильной связи.

Программное обеспечение и ИТ-услуги: grid-алгоритмы и программное обеспечение для распределенного решения отдельных классов сложных вычислительных задач; программное обеспечение формализации и извлечения знаний о сложных информационных объектах; алгоритмы и программное обеспечение для верификации больших программ; алгоритмы и программное обеспечение машинного обучения, в т.ч. с опорой на суперкомпьютерные модели распределенных вычислений; аналитическое программное обеспечение нового поколения; инструментальные средства разработки, отладки и тестирования программ для различных классов систем параллельных вычислений; приложения дополненной реальности.

Машиностроение: алгоритмы и программное обеспечение для построения сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени (компьютерное зрение); роботы-помощники, свободно передвигающиеся и взаимодействующие с людьми; цифровые устройства, обладающие свойствами репликации и/или самовосстановления; развитие средств автоматизированного формирования

материальных объектов на основе цифровых моделей этих объектов (аддитивные технологии и т.п.).

Химическая промышленность: алгоритмы и программное обеспечение компьютерного моделирования физических, химических и биологических процессов, обеспечивающие достоверное прогнозирование результатов междисциплинарных экспериментальных исследований; алгоритмы и программное обеспечение компьютерного мониторинга и прогнозирования особо опасных климатических явлений и геологических природных катастроф; алгоритмы и программное обеспечение систем и комплексов предсказательного моделирования событий и явлений (социальных, техногенных, климатических, сейсмических, геофизических и др.).

Энергетика: алгоритмы и программное обеспечение для интеллектуальных энергетических сетей, т.е. программно-технологического комплекса, способствующего превращению энергетической сети из «пассивного» устройства транспортировки электроэнергии в «активный» элемент управления режимами работы; алгоритмы и программное обеспечение оценки рисков и планирования мероприятий по преодолению чрезвычайных ситуаций в энергетических инфраструктурах; программное обеспечение энергоинформационных систем реализации программ «энергоэффективный дом» и «энергоэффективный город».

Добыча полезных ископаемых: алгоритмы и программное обеспечение для формализации и извлечения знаний из слабоструктурированной и неструктурированной информации; алгоритмы и программное обеспечение компьютерного мониторинга и прогнозирования особо опасных климатических явлений и геологических природных катастроф; программное обеспечение систем геологоразведки в сложных климатических и геологических условиях; программное обеспечение доразведки выработанных и вырабатываемых месторождений; программное обеспечение геологоразведки нетрадиционных энергоносителей; интеллектуальные системы управления трубопроводными транспортными потоками; алгоритмы и программное обеспечение систем и комплексов предсказательного моделирования событий и явлений (социальных, техногенных, климатических, сейсмических, геофизических и др.).

Транспорт: программное обеспечение моделирования транспортно-экономических балансов регионального и федерального уровней; интеллектуальные транспортные системы городских агломераций; интеллектуальные транспортные системы транзитных транспортных коридоров и федеральных трасс; интеллектуальные транспортные системы автоматизированного и автоматического управления воздушными транспортными средствами, в т.ч. беспилотными, а также их группами; алгоритмы и программное обеспечение оценки рисков и планирования мероприятий по преодолению чрезвычайных ситуаций в транспортных системах; автономные необслуживаемые микромощные радиоэлектронные устройства, программируемые по радиоканалу; программное обеспечение организации мультимодальных транспортно-логистических процессов регионального, федерального и межстранового уровней; система мониторинга и управления качеством транспортных услуг; системы мониторинга, контроля и надзора за обеспечением безопасности на транспорте и на объектах транспортной инфраструктуры.

Наука: интеллектуальные системы типа «умная лаборатория»; grid-алгоритмы и программное обеспечение для распределенного решения отдельных классов сложных вычислительных задач; алгоритмы и программное обеспечение для формализации и извлечения знаний из слабоструктурированной и неструктурированной информации; модели, алгоритмы и программное обеспечение трекинга научно-технических результатов на основании анализа их повторного использования и выявления скрытых взаимосвязей на всех этапах жизненного цикла научной продукции и технологий; алгоритмы и программное обеспечение машинного обучения (machine learning), в т.ч. с опорой на суперкомпьютерные модели распределенных вычислений; алгоритмы и программное обеспечение систем и комплексов предсказательного моделирования событий и явлений (социальных, техногенных, климатических, сейсмических, геофизических и др.); аналитическое программное обеспечение нового поколения (next-generation analytics), основанное на эффективных методах и алгоритмах формализации и извлечения знаний и обработки больших данных.

Управление: платформа для перехода публичной политики в Интернет-пространство с использованием краудсорсинга для совершенствования практик гос-

управления и регулирования; инструменты создания «облачной демократии», стирающей границы между гражданской активностью и публичной политикой; инструменты обеспечения нового уровня защиты государственной тайны; алгоритмы и программное обеспечение систем и комплексов предсказательного моделирования событий и явлений (социальных, техногенных, климатических, сейсмических, геофизических и др.); алгоритмы, устройства и программное обеспечение для работы с пространственными данными (location-based services); аналитическое программное обеспечение нового поколения; мультиструктурные и мультимодальные хранилища информации.

Образование: ресурсы для дистанционного образования, как в лекционном, так и в семинарском режиме; мультимедийные средства поддержки очного обучения, адаптированные под современные форматы и требования (от размещения текстов до выполнения сложных заданий по поиску и обработке данных); ресурсы для обучения людей с ограниченными возможностями; информационные базы как общеразвивающего, так и узкопрофессионального профиля; системы автоматического перевода улучшенного качества, способные переводить как тексты, так и речь; узкопрофессиональные поисковые и библиотечные системы; программное обеспечение для портативных устройств, оснащенных обучающими программами и ресурсами; алгоритмы и программное обеспечение для обработки мультимедийной информации в сетях хранения на основе распараллеливания операций выявления семантических связей; алгоритмы и программное обеспечение для самообучающихся систем машинного перевода; аналитическое программное обеспечение нового поколения; мультиструктурные и мультимодальные хранилища информации.

Здравоохранение: алгоритмы и программное обеспечение для математического моделирования процессов, происходящих в живых организмах (например, ускорение процессов моделирования структур и динамики макромолекул); алгоритмы и программное обеспечение для построения сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени (компьютерное зрение); модели и программное обеспечение для формирования детализированных цифровых онтологических профилей пациентов, болезней, способов лечения и др., обеспечивающих

многоаспектный учет медицинских и экстрамедицинских параметров на недоступном в настоящий момент уровне; программное обеспечение поддержки принятия решений в области предсказательной медицины; носимые беспроводные датчики.

Индивидуальное потребление продукции ИКТ: компактные источники энергии для долговременного (недели, месяцы) питания цифровых устройств массового применения; приложения дополненной реальности; интеллектуальные системы «умный дом»: цифровизация бытовых устройств, объединение их в единую сеть, способную как к автоматическому поддержанию оптимальных параметров, так и к изменению по удаленной команде; роботы-помощники, свободно передвигающиеся и взаимодействующие с людьми; средства повышения качества жизни людей с ограниченными возможностями; средства создания виртуальных профессиональных сообществ и новых форм занятости, развитие Интернет-бизнесов; персонализированные услуги, привязанные к контексту потребителя, в т.ч. персонифицированное телевизионное вещание и новостные ленты; интерактивные музеи и выставки, повышающие доступность объектов культурного наследия и снимающие ограничения по посещаемости; мультиязычные (инвариантные к исходным языкам) и мультимодальные (инвариантные к типу контента: текст, графика, видео) системы извлечения и формализации информации; устройства для замещения промышленных изделий продукцией 3D-печати.

Перспективные направления научных исследований

1. Компьютерные архитектуры и системы:

Экзафлопсные суперЭВМ.

Вычислительные алгоритмы и программное обеспечение для систем.

Распределенные системы и архитектуры.

Новые архитектуры серверных и персональных компьютерных устройств.

Новые парадигмы организации и реализации вычислительных процессов, новые технологии создания компьютерных устройств.

Ожидаемые результаты: прототипы систем, реализующих новые принципы организации вычислений; прототипы элементов вычислительных систем, реализующих перспективные принципы сопряжения, хранения и информационного обмена; ис-

следовательские модели и прототипы компонентов вычислительных архитектур, построенных на новых парадигмах, в т.ч. нейро-, био-, оптических, квантовых, системы самосинхронизации, рекуррентности.

2. Телекоммуникационные технологии:

Новые технологии передачи информации.

Новые технологии организации сетей.

Новые технологии распространения контента.

Технологии и системы цифровой реальности и перспективные «человеко-компьютерные» интерфейсы.

Ожидаемые результаты: прототипы сетей и элементов коммуникационных инфраструктур с терабитовыми скоростями передачи информации; прототипы сетей, реализующих новые принципы организации, в т.ч. когнитивных, гибридных, адаптивных реконфигурируемых, гетерогенных; прототипы систем с гарантированным динамическим выделением ресурса; прототипы исследовательских сетей нового поколения, обеспечивающих передачу больших объемов данных, получаемых в результате научных экспериментов, распределенную обработку научной информации, совместную работу распределенных научных групп.

3. Технологии обработки и анализа информации:

Методы и технологии сбора, обработки, анализа и хранения сверхбольших объемов информации.

Новые технологии работы с мультимедийной информацией.

Новые технологии работы с текстовой и слабоструктурированной информацией.

Перспективные веб-технологии и системы.

Новые технологии анализа информации.

Ожидаемые результаты: прототипы мультиязычных программных систем извлечения и формализации знаний из неструктурированной и слабоструктурированной информации, а также перспективных средств хранения и анализа знаний; прототипы, основанные на новых принципах программных систем обработки, поиска, анализа и визуализации, в т.ч. программные системы принятия решений и идентификации ситуаций на основе сверхбольших массивов и потоков данных;

прототипы программных систем анализа сложных трехмерных сцен по изображениям и видеоряду в режиме реального времени; исследовательские модели и прототипы программных систем хранения, обработки и анализа сверхбольших мультикомпонентных потоков информации, в т.ч. медиаинформации.

4. Элементная база и электронные устройства, робототехника:

Перспективные технологии автоматизированного проектирования элементной базы.

Использование новой элементной базы для создания перспективных ИКТ.

Технологии создания сложных функциональных блоков для элементной базы.

Робототехника.

Ожидаемые результаты: исследовательские и опытные образцы сложнофункциональных блоков интегральных схем с учетом качественно новых эффектов, в т.ч. взаимного влияния элементов и подложки; опытные образцы микропроцессоров и коммуникационных сверхбольших интегральных схем на основе самосинхронной логики с локально-асинхронными механизмами самоконтроля и парирования ошибок; прототипы элементной базы на основе квантовых эффектов, одноэлектроники, спинтроники и фотоники; прототипы биоподобных и антропоморфных робототехнических устройств, самообучающихся роботов, искусственных нервных систем роботов, систем группового управления роботами.

5. Предсказательное моделирование, функционирование перспективных систем:

Моделирование сложных систем и процессов.

Интеллектуальные системы управления и поддержки принятия решений.

Средства проектирования и поддержки функционирования ИКТ.

Ожидаемые результаты: прототипы программных систем предсказательного моделирования сложных систем (технических, социально-экономических, политических, транспортных и т.п.) и свойств физических, химических, биологических и других объектов с выходом на уровень предсказательной точности и сложности, не достижимый в настоящее время; прототипы программных систем, реализующих новые модели процессов в природе, обществе, гуманитарной сфере, киберпространстве и др.; прототипы программных систем автоматизированного управления боль-

шими системами (социально-экономическими, техническими, транспортными и т. д.) на основе новых принципов, моделей и процессов управления; прототипы программных систем, в которых реализуются гибридные модели когнитивных механизмов и речемыслительной деятельности человека, технологии моделирования человеческого интеллекта; исследовательские модели и прототипы устройств с новыми принципами организации взаимодействия «человек – компьютер».

6. Информационная безопасность:

Технологии надежной идентификации и аутентификации в ИКТ.

Надежные и доверенные архитектуры, протоколы, модели.

Технологии обеспечения защиты персональных данных.

Методы и средства биометрической идентификации личности.

Противодействие новым вызовам информационной войны и киберпреступности в ИКТ.

Ожидаемые результаты: прототипы средств защиты компьютерных инфраструктур на основе принципиально новых парадигм, в т.ч. квантовой криптографии и компьютинга, нейрокогнитивных принципов; прототипы перспективных средств и программных систем защиты данных с учетом новых принципов организации информации и взаимодействия информационных объектов, в т.ч. глобальной интеграции информационных систем, повсеместного доступа к приложениям, новых протоколов Интернета, виртуализации, социальных сетей, данных мобильных устройств и геолокации; прототипы, основанные на новых принципах программных систем биометрической идентификации, обработки, интеграции и анализа мультимодальных биометрических данных, в т.ч. в целях их использования в новых областях (социальный веб; приложения, использующие геоконтекст; обеспечение сохранности имущества; игры и др.).

7. Алгоритмы и программное обеспечение:

Перспективные парадигмы и технологии программирования, языки и системы.

Перспективные технологии и решения для операционных систем, СУБД и программного обеспечения промежуточного слоя.

Когнитивные технологии.

Ожидаемые результаты: перспективные языки и прототипы систем программирования, реализующие новые и объединяющие существующие парадигмы, в т.ч. объектно-ориентированные, функциональные, логические, языки спецификаций, «программирование без программиста», предметно-ориентированные, программирование на естественном языке, с поддержкой доказуемости различных свойств программ; прототипы компонентов перспективного системного программного обеспечения, в т.ч. обеспечивающие повышение производительности обработки информации, достоверное доказательство выполнения требований, поддержку перспективных архитектур и др.; исследовательские модели и алгоритмы, адаптируемые к вычислительным системам нового поколения; прототипы программных систем, реализующих новые модели организации параллельных вычислений и новые принципы распределенных вычислений на базе сети компьютеров и мобильных устройств частных владельцев; прототипы программных и операционных систем с локально-асинхронными механизмами самоконтроля и парирования ошибок; исследовательские модели и прототипы автоматизированных и автоматических систем анализа программ (включая доказательство их различных свойств) и преобразования программ (включая оптимизацию по различным критериям, распараллеливание, инверсию, композицию и вывод новых программ из существующих); исследовательские модели и прототипы программных систем машинного обучения, основанных на новых методах и алгоритмах, в т.ч. обработки сверхбольших и разрозненных источников информации.

2. БИОТЕХНОЛОГИИ

По прогнозам международных организаций – Всемирного банка, ОЭСР, Еврокомиссии и др. – темпы роста рынков биотехнологической продукции будут неуклонно возрастать. Интенсивное развитие биотехнологий обусловлено не только успехами биохимии и молекулярной биологии, но и кризисом традиционных технологий (особенно на фоне новых трендов, прежде всего в области экологии и энергетики), необходимостью обеспечения продовольственной безопасности, сохранения ресурсного

потенциала, увеличения продолжительности жизни населения, поддержания здорового генофонда нации.

Клеточные, геномные, постгеномные технологии послужат основой для противодействия распространению различных видов заболеваний человека и животных; получения биоматериалов из возобновляемого сырья для замещения традиционных производств (химических, пищевых, целлюлозно-бумажных и др.) и появления новых продуктов с уникальными свойствами; восстановления редких и исчезающих видов флоры и фауны; сохранения биоресурсов Мирового океана. Совершенствование методов биоорганической переработки отходов позволит решить проблему их захоронения и утилизации, снизив уровень загрязнения окружающей среды, с одновременным получением больших объемов биомассы для последующей промышленной переработки. Внедрение новых высокопродуктивных биообъектов и применение эффективных технологических режимов обеспечат значительную интенсификацию производственных процессов.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: потеря биоразнообразия; изменение климата и дефицит пригодных для сельского хозяйства земель; урбанизация и возрастающая нагрузка на окружающую среду; распространение генномодифицированных продуктов.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические и социальные: увеличение срока активной жизни человека; рост численности населения в мире; рост количества персональных мобильных устройств, анализирующих состояние здоровья; экологизация экономики, «зеленый рост» и развитие экономики знаний; истощение дешевых запасов традиционных углеводородов; рост спроса на продукты питания;

научно-технологические: развитие высокопроизводительных методов анализа геномов, транскриптомов, протеомов и метаболомов; методов биоинформатики для обработки данных геномного, транскриптомного и протеомного анализа; компьютерного моделирования структуры биомолекул и процессов в живых системах; развитие технологий синтетической биологии, метаболической инженерии и биоинже-

нерии; технологии для работы со сверхбольшими объемами данных; развитие суперкомпьютерных вычислений; распространение материалов с новыми свойствами и технологий «зеленого» строительства; увеличение объемов использования возобновляемых источников энергии и потребностей в биотопливе; энергетические установки для транспортных средств, использующих альтернативные виды топлива; распространение технологий производства биопродуктов на основе молекулярной самосборки; развитие исследований в области регуляции экспрессии генома; появление биореакторов для получения биомассы с заданными свойствами; развитие технологий экологически безопасной переработки отходов, в т.ч. с получением ценных продуктов; развитие технологий альтернативной энергетики; внедрение технологий «умного» сельского хозяйства.

Угрозы для России в указанной сфере: низкая продуктивность сельскохозяйственного производства; критическое отставание научно-исследовательской и производственно-технологической базы в области биотехнологий; низкий спрос на разработки практического назначения; недостаточные инвестиции бизнеса в развитие биотехнологических производств; высокие барьеры входа на мировой рынок биотехнологической продукции; риск превращения страны в сырьевую базу для мировых лидеров рынка биотехнологий.

Перспективные рынки, продукты и услуги

В ближайшее время биотехнологии будут наиболее востребованы в сельском хозяйстве, пищевой промышленности и производстве биотоплива. Оценки степени распространения генномодифицированных организмов варьируются, что обусловлено неоднозначным отношением общества к подобной продукции.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Пищевые биопродукты: продукты с про-, пре- и синбиотическим действием (пребиотики, пробиотики, синбиотики; стартерные культуры; высококонцентрированные закваски; целевые продукты с заданными свойствами); пищевой белок (белковые продукты из малоценных отходов; белковые продукты из побочных продуктов переработки из растительного и животного сырья; белковые продукты с улучшенными свойствами); специализированные пищевые продукты (добавки растительного

или бактериального происхождения; витамины, минеральные вещества; натуральные ароматизаторы и красители; ферменты и эмульгаторы; аминокислотные добавки; усилители вкуса; пищевые ингредиенты); функциональные пищевые продукты (продукты функционального лечебного питания; продукты детского питания, биологически активные добавки); пищевые продукты, полученные путем глубокой переработки отходов (натуральные ароматизаторы; красители; новые технологические добавки; заквасочные культуры; витамины; функциональные смеси).

Промышленные биопродукты: ферменты (крупнотоннажные, кормовые и пищевые ферменты; целлюлоза, бета-глюканаза, ксиланаза, гемицеллюлазы, фитаза, пектиназа, амилаза, липаза, протеаза, нитрилгидратаза; синтоны (оксидоредуктазы, лигазы, синтазы); биохимия (органические кислоты, антибиотики, биологические средства защиты растений (биопестициды, биоинсектициды); спирты, углеводороды, лаврицидные препараты; полисахариды; биодеградируемые полимеры; синтетические полимеры; фурфурол; мономеры.

Биотехнологические системы охраны окружающей среды: средства переработки леса (средства для малоотходной переработки древесины, средства утилизации отходов лесопиления); очистные сооружения (организмы-биодеструкторы, средства очистки вод, грунтов и атмосферы с помощью метаболического потенциала биологических объектов; биодеграданты; средства ликвидации воздействия на окружающую среду, техногенных катастроф); экологически чистое жилье (технологии реализации «нулевого» безотходного жилья; биопозитивные строительные материалы (полностью вторично используемые в условиях биотехнологической обработки – новые сорта деревьев, шерсть, войлок, натуральные клен и каучук); биоресурсные центры и биоколлекции (коллекции микроорганизмов, грибов, водорослей; коллекции клеток высших растений и животных).

Биотопливо и биоэнергетика: биотопливо и компоненты из биомассы (топливные гранулы, брикеты из древесины; продукты пиролиза; биодизель, биоэтанол, биобутанол, оксигенераторы); энергетические продукты (биотопливные элементы, бионакопители энергии, биометан, биоводород и присадки; биометан, биоводород и при-

садки; высокотехнологичные устройства по производству тепловой и электрической энергии из различных источников биомасс).

Биотехнологические продукты сельского хозяйства: новые сорта сельскохозяйственных растений; новые биотехнологические формы деревьев с заданными признаками; штаммы микроорганизмов и микробные консорциумы для создания симбиотических растительно-микробных сообществ, обеспечивающих питание растений минеральными веществами и их защиту от патогенов; растения и животные – «биофабрики» для получения биопродуктов промышленного и медицинского назначения; новые породы сельскохозяйственных животных; кормовой белок (биотехнологический кормовой белок; кормовые добавки, витамины, ферменты; консерванты кормов и силосные закваски; комбикорма; премиксы).

Аквабиокультура: гидробионты как источник биомассы (новые породы и кроссы гидробионтов, устойчивые к неблагоприятным температурным режимам и обладающие высоким темпом роста и размножения; переработанные промысловые гидробионты и продукция аквакультур; специализированные корма для аквакультур (новые кормовые компоненты растительного происхождения (пшеничных зародышевых хлопьев, жмыха); клеточные линии морских организмов и микробных симбионтов, являющиеся продуцентами биологически активных соединений); продукты, полученные из гидробионтов (биологически активные соединения; биополимеры и новые материалы; функциональные пищевые продукты; биологическое сырье, полуфабрикаты, продукты потребления).

Биотехнологические системы и продукты для лесного сектора: средства воспроизводства и защиты леса: средства и методы сохранения и воспроизводства лесных генетических ресурсов; биотехнологические формы деревьев с заданными признаками; биологические средства защиты леса; продукты микробиологической конверсии (биоудобрения).

Перспективные направления научных исследований

1. Научно-методическая база исследований в области биотехнологий:

Высокопроизводительные методы анализа геномов, транскриптомов, протеомов и метаболомов.

Системная и структурная биология.

Синтетическая биология, метаболическая инженерия и биоинженерия.

Иммунобиотехнологии.

Клеточные биотехнологии.

Исследование природного биоразнообразия.

Ожидаемые результаты: новые методические подходы в области геномных и постгеномных технологий, системной, синтетической и структурной биологии, биоинженерии и биоинформатики.

2. Промышленные биотехнологии:

Биосинтетические процессы получения биологически активных соединений.

Ферменты и их использование в биокаталитических процессах.

Процессы получения биоматериалов и продуктов тонкого и основного органического синтеза из возобновляемого сырья.

Ресурсная база промышленной биотехнологии.

Новые технологии получения, выделения и очистки биопродуктов.

Биогеотехнологии.

Ожидаемые результаты: биотехнологии получения продуктов промышленного, сельскохозяйственного и медицинского назначения, включая традиционные (биологически активные соединения, продукты питания, корма для животных и др.), а также новые (рекомбинантные белки, биополимеры, продукты тонкого и основного органического синтеза, биоразлагаемые пластики), в т.ч.: реализованные на лабораторном уровне процессы получения биологически активных соединений (аминокислот, антибиотиков, белковых и пептидных препаратов, антиоксидантов и др.), основанные на направленной модификации путей метаболизма организма-продуцента методами метаболической инженерии; новые способы получения биоматериалов и продуктов органического синтеза из возобновляемого сырья для замещения традиционных химических производств и создания новых продуктов и материалов с уникальными свойствами, штаммы и ассоциации микроорганизмов-продуцентов; перспективные ферменты для использования в биокаталитических процессах, в т.ч. устойчивые к экстремальным условиям реальных биотехнологических процессов (вы-

сокой температуре, кислотности или щелочности, присутствию солей, органических растворителей и т. д.), искусственные белки с улучшенными функциональными характеристиками, полученные с помощью рационального дизайна и направленной эволюции; штаммы микроорганизмов – продуценты биологически активных веществ (биопестицидов, биоинсектицидов и др.) для создания биологических средств защиты растений; перспективные штаммы микроорганизмов и микробные ассоциации для использования в биогеотехнологических процессах и создания микробных источников электричества; опытные образцы новых источников непищевой биомассы с улучшенными характеристиками для использования в качестве сырья (быстрорастущие деревья и водные растения, микроводоросли и др.); биотехнологические процессы использования микроорганизмами газообразных субстратов на базе новых штаммов и принципов ферментации.

3. Агробиотехнологии:

Создание новых высокопродуктивных, устойчивых к патогенам и неблагоприятным условиям окружающей среды сортов гибридов сельскохозяйственных растений, с использованием биотехнологий.

Усовершенствование племенной работы путем использования методов генетической селекции сельскохозяйственных животных; создание баз данных, содержащих информацию о геноме пород сельскохозяйственных животных, для внедрения в племенную работу технологий клонирования и генетической паспортизации.

Методы генетической паспортизации сортов и сертификации семян растений.

Прототипы инновационных лекарственных средств и кандидатные вакцины перорального применения для животных.

Новые молекулярно-генетические методы диагностики патогенов растений и животных, биологические средства борьбы с патогенами.

Штаммы микроорганизмов и микробные консорциумы для создания симбиотических растительно-микробных сообществ, обеспечивающих питание растений минеральными веществами и их защиту от патогенов.

Биотехнологические процессы получения биопродуктов промышленного и медицинского назначения в растениях.

Ожидаемые результаты: повышение эффективности сельскохозяйственного производства за счет современных методов управления генетическими ресурсами сельскохозяйственных растений, животных и микроорганизмов; инновационные биологические средства защиты растений и повышения их продуктивности; новые биопродукты промышленного и медицинского назначения, созданные с использованием растений и животных – биофабрик.

4. Экологические биотехнологии:

Новые верифицированные методики биотестирования и биоиндикации с повышенной чувствительностью и селективностью для определения загрязнений в окружающей среде, штаммы организмов-биосенсоров.

Новые методики очистки вод, грунтов и воздуха с использованием эффективных организмов – биоремедиаторов.

Экологически безопасные биоциды для защиты технических объектов от организмов-деструкторов.

Ожидаемые результаты: системы мониторинга загрязнения окружающей среды на основе биотехнологий; восстановление экосистем с использованием живых организмов – биодеструкторов; защита материалов и технических объектов от биоповреждений и биокоррозии.

5. Пищевые биотехнологии:

Обеспечение безопасности пищевых продуктов.

Технологии пищевого белка.

Биотехнологические подходы к производству пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков, заквасок и пищевых ингредиентов.

Функциональные и специализированные пищевые продукты.

Переработка пищевого сырья и отходов.

Ожидаемые результаты: системы оценки безопасности новых и традиционных источников пищи и ее ингредиентов, методов переработки пищевого сырья, функциональных пищевых продуктов, продуктов детского питания, диетических, лечебных, продуктов с пониженной аллергенностью, биологически активных добавок к пище, в т.ч.: экспериментальные образцы приборов для высокочувствительного экспрессно-

го определения загрязняющих веществ (ксенобиотиков, грибных и бактериальных токсинов, пестицидов, ветеринарных препаратов и т. д.) в пищевых продуктах и сырье; методы контроля аутентичности пищевых продуктов, основанные на определении специфических биологических макромолекул (нуклеиновых кислот, белков и др.), реализованные на лабораторном уровне; экспериментальные образцы новых пробиотиков, пребиотиков, синбиотиков, заквасок и пищевых ингредиентов, новые штаммы молочнокислых и других технологических микроорганизмов, микробные консорциумы с заданными биологическими свойствами и оптимизированными технологическими характеристиками; биотехнологические процессы получения биологически активных веществ, полезных белковых продуктов и ингредиентов из отходов и малоценных продуктов переработки сырья растительного и животного происхождения.

6. Лесные биотехнологии:

Создание новых сортов древесных растений с улучшенными характеристиками (структурой древесины, устойчивостью к фитопатогенам, скоростью роста и др.) с использованием биотехнологий.

Микробиологические средства защиты леса от вредителей и патогенов.

Перспективные биотехнологические процессы комплексной переработки древесной биомассы и ее отдельных компонентов, реализованные на лабораторном уровне.

Ожидаемые результаты: новые формы древесных растений с заданными признаками, посадочный материал; методы оценки качества семенного материала, мониторинга фитосанитарного состояния питомников и лесных насаждений; методы глубокой переработки древесины и утилизации отходов лесопиления; современная система управления лесонасаждениями (с привлечением методов ДНК-маркирования); биологические средства защиты леса.

7. Аквабиокультура:

Идентификация новых практически ценных биомолекул гидробионтов (ферментов, белков и пептидов, вторичных метаболитов, полисахаридов, из бактерий, архей, водорослей, жирных кислот и липидов водорослей) с использованием геномных и

постгеномных технологий, методы получения биополимеров и новых материалов из гидробионтов.

Методы культивирования клеточных линий морских организмов и микробных симбионтов – продуцентов биологически активных соединений, реализованные на лабораторном уровне.

Методы молекулярной селекции гидробионтов для получения высокопродуктивных объектов аквакультуры.

Ожидаемые результаты: эффективные продукты из гидробионтов Мирового океана и внутренних водоемов (рыб, моллюсков, ракообразных, иглокожих, водорослей, микроорганизмов); системы комплексной переработки гидробионтов и производство на их основе востребованной продукции пищевого, кормового, ветеринарного и медицинского назначения.

3. МЕДИЦИНА И ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

Ключевыми факторами развития медицины и здравоохранения становятся старение населения; увеличение распространенности онкологических, сердечно-сосудистых и инфекционных заболеваний, болезней обмена веществ, патологий мозга; связанные с этим значимые показатели смертности. Подобные вызовы обусловливают появление новых рынков, динамика которых будет определяться потребностями в новых способах диагностики и лечения, неинвазивных надежных экспресс-технологиях мониторинга в домашних условиях, дистанционных методах предоставления медицинских услуг, характеризующихся профилактической направленностью, безопасностью и высокой эффективностью.

В мире сформировался устойчивый спрос на новое качество жизни, включая возможности компенсации утраченной функции организма, органа или его части. Следствием этого стал активный рост рынков медицинских биотехнологий и услуг высокотехнологичной и персонализированной медицины. Дальнейший прогресс в области биоинформационных, постгеномных и протеомных технологий предоставит медицине возможность персонализации терапевтического воздействия.

Перспективы развития данного направления определяют следующие вызовы: повышение онкологической заболеваемости и смертности; рост смертности вследствие сердечно-сосудистых заболеваний; распространение заболеваний, связанных с низким уровнем гигиены; рост заболеваний, связанных с нарушением метаболических процессов; повышение заболеваемости хроническими обструктивными болезнями легких; распространение болезней больших городов; распространение аллергических патологий; рост заболеваний, связанных со старением населения; рост патологий опорно-двигательного аппарата вследствие распространения изменения образа жизни.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические и социальные: усиление потребностей в материалах с новыми свойствами; рост спроса на неинвазивную диагностику; повышение спроса на дистанционные методы диагностики; рост спроса на приборы «домашней медицины»; ускоренное освоение Арктики и Антарктики и рост спроса на экстремальную медицину; рост спроса на органы и ткани для замещения; смена основных игроков на мировых рынках фармацевтики;

научно-технологические: развитие направленной регуляции клеточной дифференцировки; усиление потребностей в технологиях для персонализированной медицины; развитие принципов таргетной терапии; развитие исследований в области эпигенетики; развитие теории канцерогенеза; возможность прижизненной визуализации структурно и функционально измененных клеток; распространение «умных» лекарств; расширение применения биоэлектронных интерфейсов; развитие исследований в области регуляции экспрессии генома; появление электронных аналогов органов чувств; развитие методов управления когнитивными функциями.

Угрозы для России в указанной сфере: высокая смертность вследствие сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, травм и отравлений; недостаточная эффективность существующих мер по предупреждению инфекционных заболеваний; неэффективная система реабилитации; высокая стоимость лекарственной терапии социально значимых заболеваний; высокий уровень алкоголизации населения, в т.ч.

молодежи; параллельный всплеск «болезней нищих» (туберкулеза, педикулеза и т.п.) и «болезней богатых» (стрессов, нервных патологий, расстройств личности и т.п.) вследствие усиливающегося социального расслоения населения; склонность россиян к самолечению и высокий уровень недоверия к «официальной медицине».

Перспективные рынки, продукты и услуги

Наиболее высокие темпы роста в ближайшей перспективе ожидаются в сферах фармацевтики и диагностических систем. Создаваемые здесь продуктовые группы будут расширяться вне зависимости от общей концепции развития здравоохранения. Прогресс таких технологических направлений, как клеточные технологии, тканевая и органная инженерия, генетическая инженерия, будет определяться внутренней конъюнктурой и глобальными экономическими вызовами. Наименьшую положительную динамику покажет область небиодеградируемых материалов: ее рост замедлится в долгосрочном периоде. После 2020 г. усилится развитие рынков, связанных с системами лабораторной и функциональной диагностики, имплантами, лекарственными средствами и системами адресной доставки. В дальнейшем ожидается постепенное сращивание фармацевтического и медико-биологического секторов, активное использование биотехнологий для создания новых лекарственных средств и медицинских устройств. Биомедицинские исследования в средне- и долгосрочной перспективе призваны в наибольшей степени фокусироваться на регенеративной медицине, молекулярной и функциональной диагностике.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Регенеративная медицина: тканевые и органные эквиваленты, полученные с применением генно-инженерных и клеточных технологий; таргетные биологически активные вещества для регенерации поврежденных тканей; активные молекулярные компоненты стволовых клеток для регенерации тканей; технологии и препараты на основе модифицированных клеточных систем для конкурентной терапии аутоиммунных, онкологических и неврологических заболеваний; неорганические и органические материалы неживотного происхождения для направленной регенерации целевых органов и тканей.

Биодеградируемые материалы: новые хирургические материалы на основе биодеградируемых полимеров; сложные макромолекулярные комплексы для подвижных частей имплантов и биоорганические системы для ускорения остеоинтеграции костных имплантов; биозамещаемые материалы для ортопедии, повторяющие архитектонику костной ткани.

Небиодеградируемые материалы: композиционная керамика и лекарственные цементы; перевязочные средства и трансдермальные пластыри; материалы-миметики для протезирования.

Системы диагностики: высокочувствительные сенсоры физических и физиологических параметров человека; реагенты; аппаратно-программные комплексы для анализа статических макромолекулярных маркеров; диагностические системы многофакторного статистического анализа количественных и качественных данных о низко- и высокомолекулярных маркерных молекулах; протеомные и геномные биомаркеры.

Сложные импланты: индивидуально-совместимые («умные») импланты на металлической, керамической или полимерной основе, не требующие периодической замены; импланты с биоактивными покрытиями для ускорения остеоинтеграции и совмещения с тканями; биорезорбируемые импланты для восстановления поврежденных сосудов; стенты.

Хирургическая техника: системы инвазивной визуализации, в т.ч. удаленного управления; робототехника; хирургические лазеры; системы микроманипулирования (для высокопрецизионных хирургических манипуляций).

Лекарственные средства и системы их адресной доставки: рекомбинантные белковые препараты; препараты на основе нуклеиновых кислот, в т.ч. для генной терапии; препараты на основе моноклональных антител, обеспечивающие высокую специфичность действия; компоненты и системы направленной доставки лекарственных средств, в т.ч. на основе неорганических наноматериалов.

Системы прижизненной неинвазивной визуализации: позитронно-эмиссионные томографы и контрасты для визуализации ультравысокого разрешения; магниторе-

зонансные томографы ультравысокого разрешения; системы визуализации на основе биофизических характеристик сред организма (эффекта Доплера и т.п.).

Перспективные направления научных исследований

В среднесрочный период в нашей стране возможно достижение значительных научных и практических результатов в таких направлениях, как биосовместимые биополимерные материалы; самостерилизующиеся поверхности для медицины; тест-системы на базе геномных и постгеномных технологий для диагностики рака, системных, инфекционных и наследственных заболеваний; биосенсоры и биочипы для клинической диагностики с использованием новых типов биологических устройств; методы быстрой идентификации токсических веществ и патогенов.

В ряде отраслей, включая, например, биодеградируемые материалы на основе градиентной керамики или медицинский текстиль с уникальными терапевтическими свойствами, потенциал российских разработок уже сегодня оценивается достаточно высоко.

Успехи инновационной фармацевтики – биотехнологий, технологий химического синтеза, направленного терапевтического воздействия, производства современных эффективных вакцин – позволят отечественным компаниям выйти на перспективные мировые рынки, а государству – повысить качество жизни граждан.

1. Перспективные лекарственные кандидаты:

Скрининг и повышение эффективности лекарственных кандидатов на основе использования новых фармакологических мишеней, а также новых научных данных о механизмах возникновения и развития заболеваний человека.

Модели на основе клеточных линий и/или лабораторных животных для доклинического исследования заболеваний человека.

Новые лекарственные кандидаты, в т.ч. разнонаправленного действия, с использованием как ранее известных, так и вновь открытых мишеней методами генной инженерии, биотехнологии, компьютерного моделирования и медицинской химии.

Компоненты и системы направленной доставки лекарственных средств для повышения эффективности, улучшения фармакокинетических параметров и снижения

токсичности лекарственных кандидатов, а также лабораторные протоколы их получения.

Новые вакцины, в т.ч. комбинированные.

Ожидаемые результаты: новые лекарственные средства, разработанные до стадии получения доклинического доказательства концепции, включая препараты для профилактики и лечения широкого круга социально значимых болезней (сердечно-сосудистых, неврологических, онкологических, гематологических, аутоиммунных, эндокринных, инфекционных и др.), в т.ч.: новые фармацевтические молекулы с обоснованными терапевтическими мишенями; коллекция экспериментальных животных и клеточных линий для воспроизведения социально значимых заболеваний; новых высокоэффективных вакцин, включая конъюгированные и ДНК-вакцины, для профилактики и лечения инфекционных и онкологических заболеваний, при которых малоэффективна иммунизация традиционными методами; лекарственных средств на основе рекомбинантных белков и моноклональных антител; препаратов для регенеративной медицины, а также высокоэффективных лекарственных средств, действующих через новые молекулярные мишени.

2. Молекулярная диагностика:

Аппаратно-программные комплексы, основанные на технологиях анализа статических (контекстных) макромолекулярных маркеров, для обеспечения оптимальных стратегий лечения и формирования индивидуального прогноза развития заболеваний.

Аппаратно-программные комплексы, аналитические устройства и реагенты для анализа динамических (изменяемых) макромолекулярных маркеров, а также лабораторные протоколы их использования.

Аппаратно-программные комплексы, аналитические устройства и реагенты для анализа низкомолекулярных соединений, а также лабораторные протоколы их использования.

Методы обнаружения инфекционных агентов и лабораторные протоколы их использования.

Комбинаторная молекулярная сенсорика, в т.ч. на основе аптамеров, для создания универсальных средств диагностики и анализа статических и динамических факторов патологических состояний.

Молекулярная и клеточная патология, в т.ч. исследование изменения молекулярно-генетической компоненты внутриклеточных сигнальных путей, нарушения структуры и функции отдельных клеток и тканей в контексте развития патологических процессов для разработки технологий персонифицированной медицины.

Ожидаемые результаты: новые методы и системы диагностики, основанные на технологиях определения структуры и функции биологических молекул (нуклеиновых кислот, белков, липидов, полисахаридов, низкомолекулярных соединений), в т.ч.: диагностические методы, тест-системы и комплексы, ориентированные прежде всего на выявление социально значимых болезней до их дебюта; новые высокопроизводительные методы лабораторной диагностики для обнаружения, количественного и структурного анализа белков и других макромолекулярных метаболитов, включая липиды, гликопротеины, РНК и др.; методы и инструменты для лабораторной и экспресс-диагностики социально значимых болезней (сердечно-сосудистых, онкологических, гематологических, инфекционных, эндокринных и др.) на основе анализа перечисленных молекулярных маркеров; новые методы и комплексы для количественного определения низкомолекулярных метаболитов, ионов и микроэлементов – маркеров воспаления на различных стадиях, а также хронических болезней; средства анализа индивидуальной предрасположенности к сердечно-сосудистым болезням, патологиям печени, заболеваниям репродуктивной системы, нарушениям липидного обмена.

3. Молекулярное профилирование и выявление молекулярных и клеточных механизмов патогенеза:

Идентификация и количественное определение транскриптов, белков и их модификаций (вариантов альтернативного сплайсинга, посттрансляционных модификаций, одноаминокислотных полиморфизмов) в тканях человека.

Повышение чувствительности и производительности методик измерения белкового состава образцов клинического материала.

Получение для продуктов каждого гена экспериментальных данных о его присутствии в организме пациента с диагностированным заболеванием.

Взаимодействие инфекционных и паразитарных объектов различной природы с организмом хозяина, включая эпидемиологические, молекулярно-генетические, иммунологические и метаболические аспекты патогенеза, выявление молекулярных и клеточных мишеней, а также эффекторных молекул для диагностики, профилактики и терапии.

Молекулярные основы когнитивной функции, в т.ч. построение сигнальных путей, структурно-функциональная характеризация тканей, клеток и клеточных элементов, обеспечивающих когнитивную функцию, выявление молекулярных и клеточных мишеней, а также эффекторных молекул для диагностики, профилактики и терапии.

Ожидаемые результаты: электронный каталог (атлас) белков человека, содержащий экспериментальные данные о протеоме тканей и органов и функциональных связях белков – маркеров заболеваний; аппаратно-программные комплексы, реагенты и материалы для протеомного профилирования; высокопроизводительные методы анализа реализации генетического материала в виде совокупности молекул РНК (транскриптома), белков (протеома) и низкомолекулярных соединений (метаболома); высокочувствительные молекулярные детекторы, позволяющие выявлять в биологических пробах единичные макромолекулы; протеомные биомаркеры – потенциальные молекулярные мишени заболеваний; реагенты для количественных исследований белковых маркеров, присутствующих в концентрациях ниже 10^{-12} М.

4. Биомедицинские клеточные технологии:

Методы регенерации тканей и органов человека с применением аутологичных и донорских клеток человека, тканевых эквивалентов, стимулирующих регенерацию препаратов, продуктов культивирования клеток.

Методы культивирования, модификации и перепрограммирования клеток человека.

Системы эффективного культивирования клеток человека, воздействия на их свойства и направленной дифференцировки для тканевой инженерии и клеточной терапии.

Тканевые эквиваленты и искусственные живые органы человека.

Биологически активные вещества для направленного восстановления структуры измененных заболеванием органов и тканей человека.

Препараты, стимулирующие регенерацию на основе продуктов культивирования клеток человека.

Управление клеточными функциями путем воздействия факторами различной природы на внутриклеточные и внеклеточные сигнальные пути, транскрипционные и трансляционные комплексы.

Биоинженерия, в т.ч. тканевая инженерия, тканевые эквиваленты и искусственные органы, скаффолды различной природы, клеточные элементы, культуры клеток и тканей для медицины.

Искусственные живые системы, в т.ч. искусственные клеточные элементы и химерные клетки.

Методы безопасной консервации и хранения клеточных продуктов.

Оценка биобезопасности биомедицинских препаратов и клеточных продуктов.

Ожидаемые результаты: продукты на основе регенеративных и клеточных технологий для восстановления нарушенной заболеванием структуры органов или тканей при сердечно-сосудистых, онкологических заболеваниях, нарушении функции внутренних органов, ожоговой болезни, трофических язвах, болезнях обмена веществ и травмах, в т.ч.: тканевые эквиваленты для восстановления поверхностных повреждений (ожогов, ран, язв и т. д.), для использования в травматологии и при лечении сердечно-сосудистых заболеваний; среды для получения бесклеточных продуктов культивирования стволовых клеток; методы трансплантации тканеинженерных конструкций, включая их кровоснабжение и иннервацию; клинические протоколы клеточной терапии для наследственных болезней и болезней обмена веществ; биозамещаемые материалы для использования в регенеративных процессах с применением бесклеточных технологий; биозамещаемые тканеинженерные конструкции, позво-

ляющие экстренно восстанавливать иннервацию и кровообращение после травм; эквиваленты органов человека (поджелудочной железы, печени, зрительного и слухового анализаторов); методы генетической коррекции аутологичных стволовых клеток и использования стволовых клеток с индуцированной плюрипотентностью для лечения сердечной недостаточности, регенерации миокарда после инфаркта, восстановления нарушенного кровообращения, периферических нервов и нервной ткани.

5. Биодеградируемые и композитные материалы медицинского назначения:

Материалы специализированного действия для наружного применения.

Биомеханически совместимые кардиологические и кишечные импланты и стенты с функциональными покрытиями.

Композитные материалы с функциональной структурой для дентальных и челюстно-лицевых имплантов.

Материалы для ортопедии, повторяющие архитектонику костной ткани.

Материалы, стимулирующие регенеративные процессы при трансплантации и регулирующие клеточную активность и дифференцировку в организме.

Ожидаемые результаты: изделия нового поколения из многокомпонентных биосовместимых материалов для кардиологии, онкологии, ортопедии, травматологии, стоматологии и других областей медицины, включая импланты на металлической, керамической и полимерной основе с биоактивными покрытиями для тканевой и костной имплантации, биорезорбируемые матрицы, а также гибридные скаффолды, кишечные и кардиологические стенты, высокоэффективные антисептические перевязочные материалы и др.

6. Биоэлектродинамика и лучевая медицина:

Контактные устройства для взаимодействия клеток с искусственными системами, для замещения функций поврежденных органов.

Интегрированные электронные управляющие устройства для восстановления поврежденных функций и мониторинга текущего состояния организма, в т.ч. в удаленном режиме.

Системы визуализации внутренней структуры со сверхвысоким разрешением.

Высокочувствительные сенсоры физических и физиологических параметров человека.

Ожидаемые результаты: методы и аппаратно-программные комплексы для диагностики и лечения, основанные на технологиях направленного действия электромагнитных полей, высокоэнергизированных излучений, электродинамическое моделирование клеток и тканей; новые интерфейсы для регистрации и коррекции состояния организма; лабораторные протоколы применения электродинамических методов и методов лучевой терапии.

7. Геномная паспортизация человека:

База данных и база знаний генотипов и гаплотипов населения РФ.

База данных и база знаний клинико-ассоциированных одиночных и множественных нуклеотидных полиморфизмов, генов и генных сетей, влияющих на эффективность фармакотерапии.

Образцы аппаратно-программных комплексов и лабораторные протоколы применения реагентов для полногеномного секвенирования ДНК, анализа протеомных, транскрипционных и эпигенетических профилей человека.

Ожидаемые результаты: национальные базы данных геномной информации; сеть центров прикладных геномных исследований; банк данных потенциальных биомишеней.

4. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

В последние годы нанотехнологии становятся все доступнее и с экономической, и с технической точки зрения: появилась возможность моделировать, осуществлять и контролировать процессы, происходящие на наноуровне. Развитие данной области стимулирует растущий спрос на новые материалы, обусловленный, с одной стороны, истощением сырьевых ресурсов, а с другой – активным внедрением нанотехнологий в производстве товаров с принципиально новыми свойствами.

Первых заметных эффектов, прежде всего в сфере наноэлектроники, фотоники, нанобиотехнологий, медицинских товаров и оборудования, нейроэлектронных интерфейсов, наноэлектромеханических систем, можно ожидать уже в ближайшие

пять лет. Самыми значимыми прорывами следующего десятилетия могут стать молекулярное производство макроскопических объектов («настольные нанофабрики»), развитие атомного дизайна. Конвергенция нано-, инфо-, био- и когнитивных технологий в перспективе сможет послужить залогом повышения продолжительности активной стадии жизни человека.

Большие ожидания связаны с созданием гибридных структур, сочетающих органические фрагменты с неорганическими, а живые ткани – с синтетическими компонентами; развитием нанокомпозитов; математическим моделированием свойств наноматериалов. Последние будут играть заметную роль и в решении экологических проблем, составляя ядро современных сенсорных систем, средств водоочистки, процессов разделения и многих направлений «зеленой» химии. На них основан ряд новых лекарственных препаратов, средств их адресной доставки, а также технологий оперативной диагностики живых организмов.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: повышение экологических требований к производству; угроза негативного воздействия нанопродуктов на здоровье и безопасность человека; угроза неконтролируемого распространения продуктов, производимых с использованием нанотехнологий; глобальный дефицит энергоресурсов и сырья для производства новых материалов; распространение новых загрязняющих веществ (в т.ч. наночастиц) в окружающей среде.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические и социальные: интеллектуализация производства; интеллектуализация потребления; индивидуализация потребления; рост спроса на новые материалы в связи с истощением ресурсов сырья; рост потребности в хранении, обработке и передаче больших объемов данных, в т.ч. под действием закона Мура; улучшение массогабаритных характеристик элементов транспортных средств и инфраструктуры; рост потребности в увеличении срока активной жизни человека; увеличение объемов использования возобновляемых источников энергии; переход к персонализированной медицине; необходимость переработки промышленных и бы-

товых отходов, в т.ч. для вторичного использования; рост потребности в визуализации; ускоренное освоение труднодоступных мест (океан, скважины, космическое пространство);

экологические: ужесточение требований безопасности зданий и сооружений, потребительских товаров, транспорта, объектов инфраструктуры, производственных процессов; повышение экологических требований к зданиям и сооружениям, к продуктам питания, к потребительским товарам, к экологичности транспортных средств, к отходам; истощение запасов пресной воды;

научно-технологические: развитие технологий компьютерного моделирования материалов и процессов; разработка интеллектуальных и настраиваемых конструкционных материалов; распространение технологий производства на основе молекулярной самосборки; разработка новых типов легких материалов (в первую очередь композиционных); перспективных биомиметических материалов и материалов медицинского назначения; развитие превентивной медицины; разработка материалов, обладающих повышенной прочностью; функциональных покрытий и слоистых материалов; перспективных материалов, обеспечивающих защиту конструкций; перспективных материалов для энергетики и электротехники; создание новых типов наноразмерных катализаторов для глубокой переработки сырья; разработка перспективных преобразователей солнечной энергии в электрическую; оптических материалов для светотехники; создание новых типов магнитных материалов; наноструктурированных мембранных материалов; сенсорных материалов; новых перспективных методов диагностики материалов.

Угрозы для России в указанной сфере: дефицит современного научного и промышленного оборудования для разработки и производства нанопродуктов и новых материалов; барьеры для импорта технологий и материалов; отсутствие качественного отечественного сырья для изготовления нанопродукции; дефицит высококвалифицированных кадров; острая конкуренция со стороны зарубежных производителей; необходимость значительных инвестиций в организацию массового производства для достижения эффекта масштаба.

Перспективные рынки, продукты и услуги

Изменение сложившегося облика экономики и общества во многом связывают с широким распространением новых материалов и нанотехнологий в производственных процессах и секторе услуг. В кратко- и долгосрочном периоде основной сферой применения достижений наноиндустрии станет электроника. Функциональные наноматериалы будут использоваться практически во всей компьютерной и радиоэлектронной технике и в подавляющем большинстве видов бытовой техники. В долгосрочном периоде расширится применение новых материалов в автомобильной и авиакосмической отраслях, судостроении, пищевой промышленности, строительном комплексе. Значительные объемы рынков будут сочетаться с высокими темпами роста в сфере производства оборудования для добывающей и обрабатывающей промышленности, фармацевтики и производства медицинского оборудования, электроэнергетики.

Основные группы инновационных продуктов и услуг: топливные элементы, катализаторы для получения инновационных энергоносителей; наноструктурированные материалы для химических источников тока; сенсоры для анализа состава различных сред; датчики физических величин на основе наноматериалов; системы доставки лекарств; наноструктурированные биосовместимые материалы; новые типы легких и высокопрочных материалов; термостойкие наноструктурированные композиционные, керамические и металлические материалы; наноструктурированные композиционные и керамические материалы и покрытия с особыми термическими свойствами (теплопроводящие, терморегулирующие); наноструктурированные антикоррозионные покрытия; наноструктурированные антифрикционные и адгезивные материалы; наноструктурированные гидрофобные материалы; радиационностойкие и радиозащитные наноструктурированные композиционные материалы и покрытия; наноструктурированные композиционные материалы с особыми оптическими свойствами (фотонные кристаллы); солнечные батареи нового поколения; излучатели (в т.ч. лазеры и органические светодиоды) на основе наногетероструктур; композиционные, керамические материалы и нанофлюидика с особыми магнитными свойствами; элементы электроники на основе графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок,

квантовых точек; элементы электроники на базе мемристоров; наноструктурированные композиционные материалы с особыми электропроводящими свойствами, включая сверхпроводящие материалы; нано- и микроробототехнические системы; наноструктурированные материалы с эффектом памяти формы и «самозалечивающиеся» материалы; наноструктурированные материалы и реагенты для процессов водоочистки (водоподготовки, переработки пищевого сырья); газоразделительные мембранные наноматериалы; молекулярная самосборка и самоорганизация наномеханических систем.

Перспективные направления научных исследований

Уровень российских исследований в сфере нанотехнологий и новых материалов оценивается достаточно высоко, в частности, в таких областях, как разработка наноразмерных катализаторов для глубокой переработки сырья и создание наноструктурированных мембранных материалов. Однако существуют и «белые пятна» – области, в которых результаты проводимых в стране исследований пока недостаточны (например, разработка конструкционных материалов для энергетики).

1. Конструкционные и функциональные материалы:

Высокопрочные материалы.

Износостойкие материалы.

Антикоррозионные материалы.

Термостойкие материалы.

Радиационностойкие материалы.

Интеллектуальные и настраиваемые конструкционные материалы.

Связующие материалы.

Сенсорные материалы.

Материалы с особыми электромагнитными свойствами.

Каталитические материалы.

Материалы с особыми оптическими свойствами.

Мембранные материалы.

Ожидаемые результаты: градиентные покрытия на основе нанокомпозитов с эффективной защитой узлов и агрегатов от внешних факторов; композиционные ин-

терметаллидные наноструктурированные покрытия для защиты конструкций в экстремальных условиях; углеволокнистые композиты с керамической матрицей на основе высокопрочных, высокомодульных нитей с пониженной массой и повышенной термостабильностью для производства элементов конструкции самолетов, ракет и космических станций; конструкционные материалы нового поколения с новой архитектурой и свойствами, в первую очередь механическими: повышенной прочностью, пластичностью, твердостью, трещиностойкостью, сопротивлением усталости и др.; функциональные материалы нового поколения с новыми свойствами (оптическими, транспортными, излучательными и др.), обусловленными наличием структурных элементов наномасштабных размеров; многоядерные процессоры на основе фотонных нанопереключателей, повышающие пропускную способность внутричиповых соединений при снижении энергопотребления; солнечные батареи, преобразующие до 90% световой энергии в электрическую, батареи, использующие инфракрасный диапазон и коротковолновую область солнечного спектра; новые материалы для альтернативных источников электроэнергии на основе нанотехнологий; сверхмощные керамические магниты для изготовления высокоэффективного электроэнергетического оборудования и его компонентов и др.

2. Гибридные материалы, конвергентные технологии, биомиметические материалы и материалы медицинского назначения:

Гибридные материалы и конвергентные технологии.

Биомиметические материалы и материалы медицинского назначения.

Ожидаемые результаты: костные импланты на основе биорезорбируемых нанокерамик и биокомпозитов, поставляющие материал для достраивания живых тканей организма, заполнения костных дефектов и др.; создаваемые с использованием биосовместимых нанокомпозитов на основе нанопористых соединений средства направленной доставки лекарств и воздействия на онкологические новообразования; нанокомпозиты на основе плазмидных ДНК и интерферирующих РНК для направленной доставки генетического материала; устройства для прямого считывания последовательности нуклеотидов, изготовленные с использованием наноструктурированной поверхности.

3. Компьютерное моделирование материалов и процессов:

Моделирование структуры и свойств материалов как функции их состава и организации с выходом на функциональные и конструкционные свойства материалов.

Моделирование процессов роста, агрегации, самосборки и самоорганизации наноматериалов и супрамолекулярных систем.

Моделирование процессов химического осаждения тонких пленок и покрытий из газовой и жидкой фаз.

Моделирование процессов переноса в нанопористых материалах и мембранах.

Моделирование процессов переноса заряда и энергии в наноструктурированных материалах, в т.ч. многослойных.

Моделирование рецепторных систем, молекул и препаратов, обладающих биологической активностью.

Моделирование новых комплексных систем с использованием самоорганизующихся соединений и наноструктур в целях создания интеллектуальных материалов для «умных» конструкций.

Моделирование новых материалов искусственного и синтетического происхождения, воспроизводящих отдельные функции биологических объектов.

Моделирование нано-, био-, инфо- и когнитивных технологий.

Ожидаемые результаты: новые концепции и программы предсказательного многомасштабного моделирования материалов и процессов (включая проверку расчетов на массиве экспериментальных данных); новые методы многопараметрического расчета сложных систем, обладающих биологическими свойствами и созданных на основе биохимически активных материалов, интеллектуальные материалы для «умных» конструкций и др.

4. Диагностика материалов:

Разработка применяемых для диагностики материалов перспективных технологий, основанных на принципах взаимодействия физических полей и обеспечивающих высокую информативность и достоверность результатов исследования объектов.

Разработка неразрушающих методов исследования материалов и процессов в режимах in-situ и operando (синтез, включая процессы самосборки; модификация и перестройка наночастиц; деградация; химические процессы, протекающие с участием наночастиц, и др.).

Разработка методов визуализации нанообъектов (атомно-силовая, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия).

Разработка методов исследования поверхности наночастиц и наноматериалов (дифракция быстрых и медленных электронов, рентгеновская фотоэлектронная, оже-спектроскопия).

Разработка специальных методов локального определения химического состава материалов, включая наноматериалы.

Ожидаемые результаты: перспективные диагностические системы; конкурентоспособные технологии, обеспечивающие высокую информативность и достоверность результатов, полученных в ходе исследования внутренней структуры объектов; новые концепции контроля состояния сложных систем в ходе физических и химических процессов; новые системы визуализации поверхности материалов с атомным разрешением.

5. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Окружающая среда в эпоху глобализации и бурного научно-технологического развития становится все более уязвимой. Дальнейшее следование сложившемуся инерционному сценарию в этой сфере грозит значительными рисками (истощение ряда критически важных ресурсов, изменение климата, рост техногенной нагрузки и загрязнение природных сред, дефицит качественных водных ресурсов, потеря биоразнообразия и др.).

Для России необходимость создания научно-технологических заделов в сфере рационального природопользования диктуется не только возможностями получения значимых долей на перспективных рынках, но и угрозой потери существующих позиций в традиционных сегментах вследствие постоянного ужесточения междуна-

родных экологических стандартов качества продукции и используемых для ее производства технологий.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: вспышки численности животных и инвазии чужеродных видов; рост заболеваемости и смертности от загрязнения воздуха, водоемов и водостоков; распространение в новые районы заболеваний, вызванных климатическими причинами; распространение в окружающей среде новых загрязняющих веществ (включая наночастицы); потеря биоразнообразия; введение торговых ограничений в сфере «углеродного протекционизма»; усиление миграционных процессов, вызванное экологическими и климатическими факторами; рост добычи нефти из нефтеносных песков и горючих сланцев; усиление неблагоприятных геоморфологических и эрозионно-русловых процессов и изменений в криосфере; увеличение доли городского населения; изменения климата, усиление опасных гидрометеорологических процессов; рост численности населения, проживающего в условиях «водного стресса»; истощение запасов некоторых стратегических минеральных ресурсов.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические, социальные и экологические: рост нефтегазодобычи на шельфе, ускоренное освоение Арктики; развитие экологически чистого транспорта; освоение трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов; рост мирового спроса на продукты питания; увеличение затрат на охрану окружающей среды; введение юридически обязывающих ограничений на выбросы углекислого газа; освоение подземного пространства городов и сельских поселений; рост мобильности населения, связанной с рекреационным использованием территории; экологизация экономики и «зеленый рост» в развитых странах мира; повышение эффективности использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов; снижение доступности пресной воды и усиление конкуренции за воду;

научно-технологические: развитие комплексных исследований Арктической зоны; методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; разработка технологий экологически безопасной утилизации всех видов

отходов и обезвреживания токсикантов; создание эффективных технологий дистанционной оценки состояния экосистем; развитие технологий рециклинга и повторного использования сточных вод; распространение материалов с новыми свойствами и технологий «зеленого» строительства; развитие многофункциональных и проблемно-ориентированных ГИС и перспективных интеллектуальных экспертных систем; разработка принципиально новых энергосберегающих технологий добычи и глубокой переработки минерального и техногенного сырья всех видов (твердого, жидкого, газообразного); методов прогнозирования гидрометеорологических процессов, в т.ч. опасных и экстремальных; технологий альтернативной энергетики, в т.ч. производства биотоплива; теории изменений климата; методов оценки природного и антропогенного риска; технологии освоения нетрадиционных ресурсов углеводородов; повышение коэффициента извлечения углеводородов на эксплуатируемых месторождениях.

Угрозы для России в указанной сфере: неблагополучное состояние окружающей среды (загрязнение атмосферного воздуха, водных объектов, почв, деградация биотических компонентов и экосистем); рост объемов отходов производства и потребления, накопленного экологического ущерба; нарастание негативного воздействия изменений климата, в т.ч. опасных гидрометеорологических явлений (наводнений, паводков, снежных лавин и селей, ураганов, шквалов и др.); недостаточная эффективность мониторинга последствий природных и техногенных катастроф; отсутствие рынка экологических услуг; истощение дешевых запасов качественных углеводородов, а также ряда других стратегически важных природных ресурсов (фосфоритов, редкоземельных металлов и др.); низкий уровень извлечения сырья при разработке месторождений углеводородов; значительная доля устаревших, экологических грязных производств низкого уровня передела; низкая культура экологического поведения; недостаточные объемы и низкая эффективность геологоразведочных работ.

Перспективные рынки, продукты и услуги

В период 2015–2020 гг. наиболее активно будут развиваться такие рынки, как системы раннего обнаружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; экологически чистые материалы и продукты; геоин-

формационные системы; оборудование и материалы для повышения эффективности добычи полезных ископаемых и их переработки.

В период 2020–2030 гг. максимальные темпы роста будут характерны для рынков оборудования для повышения эффективности переработки и добычи полезных ископаемых; экологически чистых материалов и продуктов; услуг по водоочистке и рециклингу воды и производства соответствующего оборудования; экологически безопасного и экономически эффективного обращения с отходами.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Системы экологического мониторинга, включая автоматизированные системы контроля окружающей среды: оборудование для анализа и контроля микро- и наночастиц в воде, земле и воздухе; системы контроля состояния атмосферы, гидросферы, криосферы, ландшафтов, почв, биоты, включая контроль эмиссий промышленных предприятий и мониторинг состояния климата; системы дистанционного мониторинга с использованием космических спутниковых систем.

Системы гидрометеорологических наблюдений и прогнозов: долгосрочные прогнозы погоды большой заблаговременности с уровнем оправдываемости, превышающим климатические прогнозы; ансамблевые прогнозы погоды и методы их вероятностной интерпретации; прогнозы характеристик состояния и режима поверхностных водных объектов.

Модели климата и опасных природных процессов: мезомасштабные модели для получения расширенного состава прогнозируемых опасных гидрометеорологических явлений; усовершенствованные гидродинамические прогностические модели высокой временной и пространственной детализации, в т.ч. совместные (океан – атмосфера – суша – биосфера).

Системы раннего обнаружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: системы раннего обнаружения условий, способствующих формированию природных и техногенных чрезвычайных ситуаций; системы диагностики состояния природных и техногенных систем; оборудование для мониторинга, контроля риска возникновения, а также уменьшения последствий чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера; методы прогнозиро-

вания природных и техногенных катастроф и их последствий на основе данных наблюдений и современных представлений о процессах их подготовки и развития.

Кадастры территорий и акваторий с наибольшим уровнем природного и техногенного риска.

Геоинформационные системы: программное обеспечение для супервычислений и систем хранения информации для моделирования и прогноза климата, состояния экосистем; специализированные пакеты обработки данных дистанционного зондирования Земли; веб-сервисы (геопорталы), работающие в он-лайн режиме.

Базы данных о состоянии окружающей среды: библиотеки данных о многолетнем состоянии компонентов природной среды; геоинформационная база онлайновых данных о лесных пожарах, наводнениях, утечках опасных веществ и т.п., позволяющая в режиме реального времени оценивать число, масштаб и скорость распространения бедствий; базы данных по природным и техногенным катастрофам, текущим наблюдениям состава атмосферы, сейсмических и геофизических полей.

Методики управления рисками чрезвычайных ситуаций: методики управления экологическими рисками при освоении морских нефтегазовых месторождений на акваториях, в т.ч. в покрытых льдом районах; методики оценки и снижения риска потерь для населения, территорий и объектов инфраструктуры от техногенных катастроф и стихийных бедствий и разработка мер по уменьшению ущерба от них; методы неразрушающего контроля.

Методики управления качеством окружающей среды: методики оптимизации территориального планирования в соответствии с ландшафтной структурой и эколого-ресурсным потенциалом территории; методики сохранения биологического и ландшафтного разнообразия (включая особо охраняемые природные территории); методики оценки состояния и динамики ресурсов водных и наземных экосистем, восстановления ресурсного потенциала территории с высокой антропогенной нагрузкой (почвы, водных и биоресурсов).

Услуги в области экологического мониторинга.

Услуги в области гидрометеорологии.

Работы по моделированию климата и опасных гидрометеорологических процессов.

Услуги по прогнозированию чрезвычайных ситуаций.

Услуги по информационно-аналитическому обеспечению охраны окружающей среды и экологической безопасности.

Оборудование и материалы для проведения геологоразведочных работ для: разведки и поиска полезных ископаемых в сложных геологических условиях; прогнозных оценок продуктивности нефтеносных пластов; поиска зон возможного рудопроявления.

Оборудование и материалы для повышения эффективности добычи полезных ископаемых: системы освоения месторождений, основанные на комбинированных физико-технических и физико-химических технологиях, совместно выполняющих общую производственную программу в едином минерально-ресурсном и технологическом пространстве горных предприятий; системы освоения морских месторождений нефти и газа; оборудование для сверхглубокого (до 15 км) бурения; системы и методы повышения отдачи пластов, включая направленное изменение их коллекторских свойств, в т.ч. на истощенных месторождениях углеводородов и месторождениях низконапорного газа; системы утилизации попутного нефтяного газа; оборудование по вовлечению в разработку и добычу нетрадиционных источников сырья, в т.ч. углеводородного, включая «тяжелые нефти», газогидраты, сланцевый газ и др.

Оборудование и материалы для повышения эффективности переработки полезных ископаемых: системы селективной дезинтеграции; системы предварительной концентрации полезного компонента; системы комплексной и глубокой переработки минерального сырья.

Поиск и разведка полезных ископаемых.

Добыча полезных ископаемых.

Обогащение и переработка полезных ископаемых.

Оборудование и инфраструктура для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: мобильные и стационарные комплексы для очистки территорий, внутренних и морских акваторий от углеводородных

(нефтяных) загрязнений; комплексы оперативно-диспетчерского управления и различных средств ведения спасательных работ и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Системы газоочистки и детоксикации воздушной среды: специальные материалы, катализаторы, поглотители для систем фильтрации воздуха; оборудование для экономически эффективного и экологически безопасного обезвреживания токсичных веществ в газовых средах.

Системы водоочистки и повторного использования воды: оборудование для утилизации осадков сточных вод; очистные системы нового поколения (для очистки от новых загрязняющих веществ); сорбенты и реагенты для очистки сточных вод и подготовки питьевой воды; новые ресурсосберегающие экологически чистые вещества и материалы для защиты поверхностных и грунтовых вод от техногенных и антропогенных воздействий, водоподготовительные системы нового поколения.

Оборудование для утилизации, переработки и захоронения отходов: оборудование для переработки и утилизации различных видов сортированных и несортированных коммунальных отходов (балластной и биоразлагаемой частей) с получением вторичного сырья и готовой продукции; оборудование для экологически безопасной и ресурсосберегающей переработки отходов производства с получением изделий и материалов, а также ценных компонентов (строительных изделий и материалов, смазок и паст, горючих газов, жидких топливных фракций и композиционных материалов, концентратов драгоценных и редких металлов и т. д.); оборудование для переработки и уничтожения материалов и сырья, содержащих опасные и особо опасные загрязняющие вещества (включая отходы нефтеперерабатывающей отрасли, медицинские и особо токсичные отходы).

Оборудование для рекультивации природных сред: системы обеспечения экологической безопасности и рекультивации полигонов, объектов обращения с отходами производства и потребления (включая особо токсичные), свалок, хвостохранилищ, территорий и акваторий, в т.ч. загрязненных нефтью и нефтепродуктами, химическими и радиоактивными веществами.

Вторичное сырье и готовая продукция на основе переработки отходов и стоков: сырье и продукция на основе переработки твердых бытовых отходов; сырье и продукция на основе отходов добычи и переработки полезных ископаемых; удобрения из осадков сточных вод; очищенная вода для промышленных, сельскохозяйственных и других нужд.

Экологически чистые материалы и продукты: продукция органического сельского хозяйства; строительные материалы с новыми свойствами (в т.ч. энергосберегающие).

Работы по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Услуги по газоочистке и детоксикации воздушной среды.

Услуги по водоочистке и рециклингу воды.

Услуги по рекультивации, санации и восстановлению земель.

Услуги в области экологически безопасного обращения с отходами.

Интеллектуальные экологические услуги: экологический консалтинг, аудит, сертификация, страхование, экопросвещение, мероприятия по повышению экологической культуры.

Перспективные направления научных исследований

Наиболее значимые научные результаты, которые могут быть достигнуты в период до 2030 г., охватывают: создание систем мониторинга, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; перспективные технологии поиска и разведки минеральных ресурсов; высокоэффективные безопасные методы морской разведки и добычи углеводородов в экстремальных природно-климатических условиях. Их разработка и внедрение приведут к более рациональному использованию минерально-сырьевой базы страны и повышению эффективности ее воспроизводства, снижению уровня загрязнения окружающей среды, минимизации ущерба от природных и техногенных катастроф.

В среднесрочный период будут активно проводиться исследования и разработки в области экологически чистых материалов и продуктов; программного обеспечения и геоинформационных систем; оборудования и материалов для повышения эффектив-

ности добычи и переработки полезных ископаемых; раннего обнаружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

1. Сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности:

Изучение изменений климата и экстремальных климатических событий с использованием перспективных подходов к анализу климатообразующих факторов.

Реконструкция ретроспективной и оценка современной динамики криосферы, в т.ч. многолетнемерзлых грунтов и ледников, а также прогноз ее изменений.

Формирование прогноза переноса и трансформации загрязняющих веществ в окружающей среде, включая микро- и наночастицы.

Оценка изменений экологического состояния ландшафта и его компонентов, эрозионно-русловых процессов, биогеохимических потоков, биопродуктивности и биоразнообразия, а также водных объектов и их систем.

Оценка и прогнозирование комплексного воздействия природных и техногенных факторов на состояние здоровья и жизнедеятельность населения в условиях изменяющегося климата и окружающей среды.

Разработка систем рационального природопользования в условиях городов и агломераций, размещения хозяйства и населения.

Оптимизация схем территориального планирования в соответствии с ландшафтной структурой и эколого-ресурсным потенциалом.

Ожидаемые результаты: снижение уровня негативного воздействия хозяйственной деятельности (образования отходов производства и потребления, выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов в водные объекты) на природную среду и здоровье населения; разработка и применение экологически эффективных технологий мирового уровня в основных отраслях экономики.

2. Мониторинг состояния окружающей среды, оценка и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера:

Оценка состояния и динамики ресурсов водных и наземных экосистем, восстановления ресурсного потенциала территорий с высокой антропогенной нагрузкой (почвы, водных и биоресурсов).

Экологический мониторинг и прогнозирование состояния природной среды в крупных промышленных городах и на особо охраняемых природных территориях береговых зон, акваторий и подземных вод.

Технологии инструментального контроля выбросов/сбросов загрязнений в атмосферу, водные объекты, почву.

Технологии получения, передачи и использования информации о состоянии окружающей среды и ее изменениях с использованием наземных, воздушных, космических и других средств.

Технологии и системы раннего обнаружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Технологии обеспечения безопасности производственных и энергетических опасных объектов, в т.ч. химических и нефтехимических производств, горных предприятий, высоконапорных плотин и гидроэлектро- и атомных станций.

Технологии управления экологическими рисками при освоении морских нефтегазовых месторождений в акваториях, в т.ч. покрытых льдом районах.

Технологии создания и актуализации кадастров территорий и акваторий с наибольшим уровнем экологического риска.

Технологии и системы предупреждения трансграничного негативного воздействия на окружающую среду.

Ожидаемые результаты: системы мониторинга, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, изменений климата, необходимые для последующего внедрения современных технологий снижения уровня негативного воздействия на экономику и здоровье населения.

3. Изучение недр, поиск, разведка и комплексное освоение минеральных и углеводородных ресурсов, а также техногенного сырья:

Поисково-разведочные работы, в т.ч. в новых районах добычи, удовлетворяющие экономическим и экологическим требованиям, разработка Геофизических методов разведки нефти и газа в нетрадиционных геологических условиях, оценка продуктивности нефтеносных пластов, методы поиска зон возможного рудопроявления.

Методы увеличения нефтеотдачи, включая направленное изменение коллекторских свойств пластов, позволяющее повысить коэффициент извлечения углеводородного сырья, в т.ч. на истощенных месторождениях и месторождениях низконапорного газа.

Утилизация попутного нефтяного газа.

Получение и использование нетрадиционных источников сырья, в т.ч. углеводородного, включая «тяжелые нефти», газогидраты, сланцевый газ и др.

Физико-технические и физико-химические технологии переработки высокогазоносных угольных пластов с предотвращением выбросов шахтного метана, в т.ч. для производства газообразных и жидких синтетических углеводородов.

Технологии эффективной переработки твердых полезных ископаемых, включая энергосберегающую комплексную переработку труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья с высокой степенью концентрации минеральных комплексов.

Использование в промышленных масштабах отходов добычи и переработки полезных ископаемых.

Ожидаемые результаты: рациональное использование минерально-сырьевой базы и ее воспроизводство благодаря современным технологиям поиска и разведки минеральных ресурсов, в т.ч. обеспечение прироста запасов углеводородного сырья, в первую очередь нефти.

4. Изучение и освоение ресурсов Мирового океана, Арктики и Антарктики:

Экологически безопасная морская разведка и добыча различных видов минеральных ресурсов в экстремальных природно-климатических условиях Мирового океана, Арктики и Антарктики.

Технологии сейсморазведки на акваториях, покрытых льдом.

Технологии обеспечения комплексной безопасности работ на континентальном шельфе РФ, в Арктике и Антарктике, включая мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти, в первую очередь в ледовых условиях, включая технологии обнаружения нефти подо льдом.

Технологии комплексного гидрометеорологического и экологического мониторинга опасных природных явлений, в первую очередь ледовой обстановки в Арктике и Антарктике, а также в других районах Мирового океана.

Современные технологии дистанционного зондирования Земли, включая экологический мониторинг, оценку ресурсов и прогнозирование состояния природной среды Арктической зоны РФ на базе многоцелевой российской космической системы «Арктика», автоматизированные системы сбора и обработки информации в труднодоступных районах Арктики и Антарктики.

Ожидаемые результаты: высокоэффективные безопасные технологии морской разведки и добычи углеводородов в экстремальных природно-климатических условиях, включая способы предупреждения и ликвидации аварийных разливов нефти; технологии разведки и добычи твердых полезных ископаемых на прибрежном и глубоководном шельфе Мирового океана.

6. ТРАНСПОРТНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы уже в ближайшем будущем станут основой для развития доступных, дешевых, безопасных, оперативных и предсказуемых транспортных связей как на региональном, так и на международном уровне. Совершенствование транспортных коммуникаций обеспечит эффект «сжатия пространства» – субъективное сокращение расстояний между населенными пунктами и различными территориями для потребителей транспортных услуг. Рост доступности и качества услуг, эффективной скорости и устойчивости транспортного сообщения в условиях напряженного движения в настоящее время является серьезным вызовом, ответ на который возможен только на базе нового поколения транспортных технологий.

Актуальной задачей в этой сфере становится снижение затрат, повышение эффективности строительства и содержания объектов инфраструктуры, рост производительности труда.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: повышение требований к экологичности авиационных транспортных систем; к элементной базе систем бортовой электроники, радиотехники, космиче-

ского приборостроения; усиление экологических требований к системам запуска и приземления космических аппаратов; рост потребности в средствах защиты космических аппаратов и орбитальных группировок от объектов и факторов космического пространства; ужесточение стандартов безопасности транспортных средств и систем.

Развитие отдельных сегментов в рамках данного приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

транспортные авиационные системы: переход к новым методам управления воздушным движением; к авиационным двигателям нового поколения; к альтернативным экологически чистым видам топлив; переход на новые конструкционные материалы; развитие интеллектуальных систем управления летательными аппаратами; разработка конфигураций роторных и крылатых летательных аппаратов; развитие теории сверхвысотных баллистических ракетопланов; развитие теории управления гидро- и аэродинамическими потоками; разработка схем двигателей, основанных на новых принципах получения тяги;

космические системы: формирование орбитальных спутниковых группировок на основе универсальных аппаратных платформ; ракетно-космические средства, обеспечивающие выведение космических аппаратов на орбиту и доставку на землю грузов; схемы жидкостных ракетных двигателей на экологичных и безопасных компонентах топлива; создание ракетных двигателей с повышенным импульсом тяги; технологии ядерной энергетики для энергетических установок выведения космических аппаратов на рабочие орбиты с их последующим энергоснабжением; интеграция национальных информационных систем в глобальное информационное поле; рост спроса на интеллектуальные бортовые системы; теория новых автономных энергетических систем и ресурсов для сопровождения орбитальных и межпланетных пилотируемых и автоматических полетов; развитие теории тросовых систем; исследование технологий беспроводной передачи энергии; освоение в ближнем космическом пространстве высокотехнологичных производственных циклов в условиях не-

весомости; совершенствование средств исследования дальнего космоса, межпланетных коммуникаций; развитие космической медицины пилотируемых полетов;

автомобильные транспортные системы: создание эффективных конструкций транспортных средств (ТС) с двигателем внутреннего сгорания; внедрение интеллектуальных транспортных систем; развитие элементов и систем автоматизации управления транспортными средствами; переход к ТС с гибридными двигателями; электромобили с мотор-колесом; формирование сетей зарядных систем; автомобили со специализированным газовым двигателем; формирование систем доставки и заправки ТС компримированным природным газом; логистические системы управления мультимодальными перевозками грузов и пассажиров; технологии строительства и содержания объектов транспортной инфраструктуры; массовое применение легких сплавов и полимеров в конструкциях ТС; эффективные накопители электрической энергии, приспособленные для использования на ТС; энергетические установки для ТС, использующих альтернативные виды топлива; интеллектуальные автоматические «беспилотные» ТС и соответствующая инфраструктура; исследование закономерностей, разработка принципов, подходов и моделей для формирования эффективных транспортных систем.

Угрозы для России в сфере космических систем: малые сроки активного существования космических аппаратов; отставание развития орбитальной группировки; недостаточное количество доступных для использования модулей Международной космической станции; неблагоприятные географические аспекты размещения космодромов (стартовых площадок), требующие разработки ракетных систем с повышенными рабочими характеристиками для гарантированного выхода в космос с территории страны; удаленность производственных предприятий от стартовых комплексов, специальные требования к транспортным процессам; ограничения на закупки космической техники и электронной компонентной базы по экспорту; использование в космических транспортных средствах токсичных компонентов топлива, применение которых может быть запрещено международными соглашениями; специальные требования к количеству и качеству компонентов систем мониторинга и телекоммуникаций в связи с необходимостью покрытия большой площади страны;

технологическое отставание научно-экспериментального и промышленного комплекса ракетно-космического производства, наземной инфраструктуры потребления космических услуг и неразвитость сопутствующих секторов приборостроения; дефицит квалифицированных кадров.

Угрозы для России в сфере авиационных транспортных систем: технологическая отсталость и высокая степень износа отечественной сети аэродромов; слабая интегрированность в современные международные логистические цепи; дефицит квалифицированных кадров в сфере авиастроения и эксплуатации авиационной техники; наличие специальных климатических требований к самолетам и наземной инфраструктуре; несоответствие гражданской авиационной техники международным экологическим стандартам и соглашениям по безопасности и шумозащищенности.

Угрозы для России в сфере автомобильных транспортных систем: недостаточный уровень развития транспортной инфраструктуры (в т.ч. в городских агломерациях); необходимость системных решений для развития транспортной инфраструктуры; отставание в развитии высокоскоростных и интеллектуальных транспортных систем; рост негативного воздействия транспорта на окружающую среду; слабая развитость национальных телекоммуникационных и навигационных систем.

Угрозы для России в сфере водных транспортных систем: технологическая отсталость судостроительных компаний; заметное преобладание военных заказов над гражданскими, тогда как на мировом рынке структура спроса прямо обратная; горизонтальная интеграция отрасли, в то время как в мире преобладает вертикальная; низкий уровень развития технологий транспортировки спецгрузов (сжиженного природного газа, опасных, нестабильных, активных веществ и др.); длительные сроки ремонта и сервисного обслуживания транспортных средств; неблагоприятные климатические условия, не допускающие круглогодичной загрузки верфей и обуславливающие высокие энергозатраты; высокая стоимость прототипирования при разработке транспортных средств; слабая развитость логистических технологий, приводящая к возникновению барьеров и разрывов в транспортных цепочках.

Перспективные рынки, продукты и услуги

Среди наиболее быстрорастущих рынков в рассматриваемой сфере в среднесрочном периоде – интеллектуальные транспортные системы и новые системы управления; экологичные и энергоэффективные транспортные средства. Особое внимание следует обратить на группу рынков, рост которых может ускориться после 2020 г., включая мультимодальные транспортно-логистические системы грузовых и пассажирских перевозок; новые материалы и технологии для транспортного строительства; перспективные транспортные средства и системы; космические услуги. Динамичное развитие указанных рынков во многом связано с использованием спутниковых технологий, включая расширение практики внедрения технологий спутниковой системы ГЛОНАСС, в том числе на региональном уровне.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Моделирование, прогнозирование и планирование развития транспортных систем на основе транспортно-экономического баланса: транспортно-экономические балансы регионального и федерального уровней; регламенты, методики и системы статистического наблюдения для построения транспортно-экономических балансов; модели транспортных систем регионального, муниципального и федерального уровней на основе транспортно-экономического баланса; комплексная система моделирования и планирования развития транспортной системы страны.

Интеллектуальные транспортные системы и новые системы управления: интеллектуальные транспортные системы городских агломераций; интеллектуальные транспортные системы транзитных транспортных коридоров и федеральных трасс; интеллектуальные транспортные системы автоматизированного и автоматического управления транспортными средствами, в т.ч. беспилотными, а также их группами; методы и модели ситуационного и адаптивного управления в интеллектуальных транспортных системах; методы и модели управления спросом на движение в интеллектуальных транспортных системах; новые системы управления на железнодорожном, автомобильном, воздушном, морском, внутреннем водном транспорте.

Мультимодальные транспортно-логистические системы: высокоэффективные транспортно-логистические технологии; технические модели и технологические

системы организации транспортно-логистических процессов; системы транспортной логистики высокого уровня.

Комплексное моделирование транспортных потоков: экономические модели рынка конкурентоспособных транспортных услуг; модели социально-транспортных стандартов; модели жизненного цикла транспортных услуг; система мониторинга и управления качеством транспортных услуг.

Системы повышения экологичности и энергоэффективности транспортных средств: системы мониторинга негативного воздействия транспорта на окружающую среду; средства и системы снижения негативного воздействия на окружающую среду на железнодорожном, воздушном, морском, внутреннем водном, автомобильном транспорте и в дорожном хозяйстве; средства и системы повышения энергоэффективности на железнодорожном, автомобильном, воздушном, морском и внутреннем водном транспорте.

Системы обеспечения безопасности на транспорте: системы мониторинга, контроля и надзора за обеспечением безопасности на транспорте; средства и системы повышения безопасности на железнодорожном, воздушном, морском, внутреннем водном и автомобильном транспорте, а также в дорожном хозяйстве.

Инновационные материалы и технологии для создания объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств: новые материалы для повышения эффективности, снижения веса и продления срока службы транспортных средств и объектов инфраструктуры; новые технические средства и автоматизированные системы контроля состояния транспортных средств и объектов инфраструктуры, управления их содержанием и ремонтом; новые материалы и технологии для создания космических систем.

Системы скоростного и высокоскоростного движения: транспортные средства и системы нового поколения на железнодорожном, автомобильном, водном и воздушном транспорте.

Перспективные транспортные средства и системы: новые типы двигателей, в т.ч. электрические; композиционные и полимерные материалы с улучшенными потребительскими характеристиками; система обслуживания транспортных средств, ис-

пользующих альтернативные виды топлива; разработка решений по встраиванию новых видов транспортных средств в действующую транспортную и энергетическую инфраструктуру.

Космические системы и услуги: космические аппараты, ракеты-носители, стартовые комплексы, орбитальные станции и электростанции нового поколения; телекоммуникационные услуги; глобальная навигация и позиционирование; космический мониторинг; вывод полезных грузов на орбиту; дистанционное зондирование Земли; космический туризм.

Перспективные направления научных исследований

1. Развитие единого транспортного пространства:

Исследовательские модели элементов транспортно-экономического баланса, конфигурирования транспортных сетей и потоков и интеллектуального управления ими, минимальных социальных транспортных стандартов, включая разработку методов интеграции взаимосвязанных моделей в единую модель транспортных потоков, системы взаимосвязанных прикладных моделей транспортных систем и методик калибровки моделей на основе натурных измерений, формирование библиотеки имитационных моделей транспортных систем для анализа и отбора оптимальных вариантов развития соответствующей инфраструктуры.

Исследовательские модели для изучения транспортной ситуации в арктической и субарктической зонах, а также перспективные технические решения, материалы и технологии строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры в этих зонах, включая формирование моделей и методов оценки влияния низких температур на долговечность и надежность транспортных сооружений в северной климатической зоне и условиях вечной мерзлоты, разработку методов и математических моделей исследования несущей способности новых конструктивных форм транспортных искусственных сооружений, принципов и моделей эффективного контроля качества объектов инфраструктуры, а также методов оценки влияния низких температур на долговечность и надежность транспортных сооружений.

Ожидаемые результаты: система формирования транспортно-экономического баланса РФ и прогнозирования его изменений, обеспечивающая научно обоснованное

планирование развития эффективной инфраструктуры и создание единого транспортного пространства страны; система имитационного моделирования потоков на сети транспортных коммуникаций, использующая данные транспортно-экономического баланса; единая интегрированная система стратегического управления развитием транспортного пространства РФ на федеральном, межрегиональном и региональном уровнях на основе математических моделей и транспортно-экономического баланса; пакет эффективных технологий и их адаптация для применения в транспортном строительстве, а также при эксплуатации и реконструкции соответствующих объектов инфраструктуры.

2. Повышение безопасности и экологичности транспортных систем:

Перспективные технологии обеспечения существенного снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду, включая разработку методов оценки уровня вредного воздействия транспорта на окружающую среду, идентификации источников и прогнозирования его последствий.

Перспективные технологии обеспечения безопасного движения (судоходства, полетов) в сложных и неблагоприятных условиях, включая разработку методов оценки отдельных параметров и интегрального уровня технологической безопасности по видам транспорта и транспортных средств в территориальном разрезе на основе методов теории надежности, исследование методов обеспечения безопасности транспортных процессов, предотвращения несанкционированного доступа к объектам транспорта и транспортной инфраструктуры, разработку и внедрение методов обеспечения безопасности с использованием современных информационных технологий, систем управления и связи, достижений в области медицины катастроф, физиологии и психологии человека, разработку специализированных тренажеров и методик обучения для персонала транспортных и космических систем.

Ожидаемые результаты: система мониторинга экологической, технической и технологической безопасности транспортной системы, обеспечивающая формирование интегральных аналитических оценок уровня технологической безопасности и вредного воздействия транспорта на окружающую среду по видам транспорта и транспортных средств в территориальном разрезе; единая государственная многоуровне-

вая система обеспечения технической и технологической безопасности на транспорте, осуществляющая поддержку управления действиями федеральных органов исполнительной власти различного уровня и транспортных предприятий различных форм собственности, а также реализации комплекса мер, направленных на снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду.

3. Перспективные транспортные и космические системы, в т.ч. на основе автоматических космических аппаратов:

Перспективные транспортные средства.

Кластеры малоразмерных космических аппаратов (микро-, нано- и пикоспутников) для дистанционного зондирования Земли, развертывание широкополосных телекоммуникационных систем и управление движением транспортных средств.

Перспективные средства выведения: многоразовые ракетно-космические системы; космические транспортные системы, в т.ч. с использованием ядерной энергетики; воздушно-космические летательные аппараты для запуска суборбитальных малоразмерных космических спутников.

Системы беспроводной передачи энергии на транспортные и космические средства.

Системы высокоточной автономной посадки летательных и спускаемых аппаратов, навигации и маневрирования наземных и водных транспортных средств.

Сверхдлинные гибкие элементы для создания статических и динамических космических тросовых систем большой протяженности и «космического лифта».

Перспективные материалы для экстремальных условий космического полета, высокоскоростного перемещения в наземной и водной средах.

Процессы, характерные для эксплуатации перспективных транспортных и космических средств, включая поисковые исследования в области аэрогидродинамики, динамики полета, аэроакустики, прочности и альтернативных источников энергии, разработку технологий ухода за эксплуатируемыми композиционными материалами и определение оптимальной структуры и набора средств в составе распределенной

системы для непрерывного контроля и управления космической группировкой в режиме реального времени.

Виртуальное проектирование, моделирование и оптимизация перспективных транспортных систем и их элементов с применением суперкомпьютерных средств экзафлопсного уровня и грид-технологий.

Ожидаемые результаты: интеллектуальные, а также высокоскоростные транспортные системы, авиационные, ракетно-космические, в т.ч. суборбитальные системы.

7. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Важными условиями формирования постиндустриальной энергетики являются опережающий рост секторов и высокотехнологичных производств, отличающихся низкой энергоемкостью; использование более широкого спектра источников энергии, локализация производства и его приближение к потребителю, внедрение широкомасштабных проектов повышения энергоэффективности, распространение интеллектуальных энергетических сетей и энергоинформационных систем.

Перспективы развития данного приоритетного направления определяют следующие вызовы: рост конкуренции на мировых энергетических рынках; формирование и развитие мирового рынка сжиженного природного газа; разработка и рост эффективности технологий использования возобновляемых источников энергии; развитие новых видов топливных элементов; ужесточение требований безопасности атомной энергетики; истощение дешевых запасов и повышение затрат на добычу традиционных углеводородов; рост объемов промышленных и бытовых отходов; продолжение процесса атомобилизации общества; освоение нетрадиционных ресурсов углеводородов; увеличение затрат на защиту окружающей среды.

Развитие приоритетного направления в средне- и долгосрочной перспективе определяется следующими окнами возможностей:

экономические и социальные: рост мирового энергопотребления; истощение дешевых запасов урана-235; рост доли электроэнергии в потреблении

конечной энергии; продолжение процесса урбанизации в развивающихся странах;

научно-технологические: разработка новых технологий водородной энергетики, обеспечения безопасности атомных электростанций, технологий аккумулирования энергии, использования промышленных и бытовых отходов, глубокой переработки углеводородов и твердых топлив, высокоэффективных технологий разделения и очистки газовых смесей и жидкостей; разработка новых методов прогнозирования и управления в энергетике, программно-аппаратных средств для создания интеллектуальных энергетических систем; массовое внедрение энергосберегающих технологий; повышение уровня безопасности энергетических технологий, включая атомные; улучшение экологических характеристик энергетических технологий; использование эффективных технологий обогащения урана; создание перспективных технологий замыкания ядерного топливного цикла; разработка перспективных реакторов на быстрых нейтронах; разработка новых методов разведки месторождений углеводородов; освоение трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов; повышение технико-экономических параметров теплоэнергетических установок; массовое применение тепловых насосов; развитие биоэнергетических технологий; разработка нового модельного инструментария для анализа и долгосрочного прогнозирования развития мировой энергетики; разработка новых методов математического моделирования и оптимизации перспективных энергетических технологий и систем.

Угрозы для России в указанной сфере: низкие уровень извлечения и глубина переработки углеводородного сырья; нерациональная структура электросетевого хозяйства и генерирующих мощностей; низкие объемы энергосбережения в сфере конечного потребления; технологическая отсталость и высокая степень износа оборудования; неразвитость энергетической инфраструктуры значительной части территории страны; недостаточные объемы и низкая эффективность геологоразведочных работ; высокий уровень монополизации отечественных энергетических рынков, разрушающий конкуренцию и создающий запретительно высокие барьеры для входа в

любое звено цепочек создания стоимости; расположение новых месторождений в экстремальных климатических и геологических условиях.

Перспективные рынки, продукты и услуги

На перспективных рынках для продуктов и услуг в сфере энергетики происходят революционные технологические изменения, которые влекут за собой появление принципиально новых технологий и радикальную трансформацию энергетических рынков.

Перспективные рынки и продуктовые группы:

Нефть нетрадиционных месторождений и нетрадиционная нефть: тяжелые (менее 20° API) и сверхтяжелые (менее 10° API) нефти; нефтяные пески и битумы (менее 10° API, повышенной вязкости); нефть, добываемая из низкопроницаемых пород (включая сланцы), и жидкие углеводороды, сопутствующие добыче сланцевого газа; нефть Баженовской свиты (включая кероген).

Природный газ нетрадиционных месторождений: угольный метан; сланцевый газ; газ низкопроницаемых пород; газ глубоких горизонтов; газогидраты; водорастворенный метан.

Сжиженный природный газ: плавучие терминалы по регазификации; завод по сжижению газа на берегу, терминал по отправке, включающий порт, емкости для хранения сжиженного природного газа, установки для загрузки судов (метановозов); флот метановозов; плавучие заводы по производству сжиженного природного газа.

Альтернативные моторные топлива: синтетическое моторное топливо из природного газа, угля или биомассы; водород для получения электроэнергии в топливных элементах, используемой для приведения в движение транспортного средства; электроэнергия, получаемая из сети, в электромобилях.

Топливные элементы: топливные элементы с протонообменной мембраной / с полимерным электролитом; фосфорно-кислотные топливные элементы; топливные элементы с расплавом карбонатов; щелочные топливные элементы; твердооксидные топливные элементы; прямые метанольные топливные элементы; на разных стадиях разработки находятся другие типы топливных элементов, в частности: с прямым окислением угля, микробиологические, обратимые и др.

Системы дальней передачи электроэнергии и топлива: технологии прикладной сверхпроводимости (высокотемпературные сверхпроводники); газоизолированные линии для передачи электроэнергии большой мощности.

Аккумулирование электроэнергии, тепла и холода: гидроаккумулирующие электростанции; воздухоаккумулирующие устройства; сверхпроводящие магнитные накопители энергии; электрохимические аккумуляторы.

Перспективное ядерное оборудование и атомная генерация: энергетические ядерные реакторы на тепловых нейтронах большой мощности четвертого поколения; ядерные реакторы на быстрых нейтронах; высокотемпературные ядерные реакторы; реакторы малой мощности; инновационный ядерный реактор с водой под давлением; оптимальные системы управления энергоблоками атомными электростанциями (АЭС); атомная теплофикация.

Биоэнергетическое топливо: биоэтанол; биодизель.

«Умные» сети: интеллектуальные сети в структуре Единой элекроэнергетической системы страны; интеллектуальные мини- и микросети на базе распределенной генерации; оборудование для возобновляемой энергетики; тепловые насосы и геотермальные установки; высокоэффективные теплоэнергетические установки; энергосберегающее оборудование.

Перспективные направления научных исследований

Уровень исследований, осуществляемых в России в области энергоэффективности и энергосбережения, варьируется достаточно сильно: от «белых пятен» по таким областям, как газификация твердых топлив нового поколения и технологии и средства дистанционного управления энергетическим оборудованием, до существенных заделов, сопоставимых с разработками мирового уровня, в частности, в сфере безопасных ядерных реакторов на быстрых нейтронах и технологий добычи некоторых видов нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья.

1. Эффективная разведка и добыча ископаемых топлив:

Перспективные технологии сейсморазведки.

Перспективные технологии добычи нефти и газа.

Перспективные технологии добычи угля.

Ожидаемые результаты: перспективные экологически безопасные технологии разведки и добычи ископаемых топлив, обеспечивающие высокий коэффициент извлечения ресурсов.

2.Эффективная и экологически чистая теплоэнергетика:

Перспективные теплоэнергетические установки на природном газе с высокими эксплуатационными свойствами.

Высокоэффективные теплоэнергетические установки на твердом топливе, безопасные для окружающей среды и климата.

Перспективные теплоэнергетические установки с низкотемпературным циклом.

Новые типы электрогенерирующих установок на основе поршневых технологий.

Новые технологии прямого преобразования химической энергии органических топлив в электрическую с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и длительным ресурсом работы.

Новые технологии экологически чистого сжигания органических топлив и горючих отходов.

Высокоэффективные технологии разделения и очистки газовых смесей и жидкостей для перспективных энергетических и энерготехнологических установок.

Ожидаемые результаты: новое поколение теплоэнергетических установок на органических топливах, созданных с учетом требований охраны окружающей среды и предотвращения изменения климата, со значениями КПД, близкими к предельным, и высокими эксплуатационными характеристиками.

3. Безопасная атомная энергетика:

Водо-водяные энергетические реакторы большой мощности четвертого поколения.

Реакторы на быстрых нейтронах повышенной безопасности.

Высокотемпературные ядерные реакторы и сопутствующая инфраструктура их применения.

Безопасные и экономически эффективные ядерные реакторы малой и средней мощности.

Новые технологии замыкания ядерного топливного цикла.

Оптимизация структуры атомной энергетики в энергетическом балансе страны.

Технологические основы управляемого термоядерного синтеза для энергетики.

Ожидаемые результаты: безопасные атомные энергетические установки и эффективный топливный цикл.

4. Эффективное использование возобновляемых видов энергии:

Перспективные преобразователи солнечной энергии в электрическую.

Перспективные солнечные коллекторы.

Перспективные преобразователи энергии ветра в электрическую.

Новые технологии для гидроэнергетики.

Новые технологии преобразования механической энергии морской среды в электрическую.

Перспективные технологии использования низкопотенциального тепла природных сред.

Ожидаемые результаты: перспективные технологии использования возобновляемых видов энергии и создание в стране новой отрасли энергетики.

5. Перспективная биоэнергетика:

Перспективные технологии производства энергетической биомассы.

Перспективные технологии переработки энергетической биомассы.

Перспективные технологии энергетического использования биомассы.

Новые биотехнологии получения моторных топлив из CO_2 без использования процесса фотосинтеза.

Ожидаемые результаты: перспективные технологии производства и эффективного использования энергетической биомассы, прямого получения моторных топлив из углекислого газа (CO_2) и создание в стране новой отрасли энергетики.

6. Глубокая переработка органических топлив:

Новые технологии глубокой переработки нефти и газового конденсата.

Эффективные технологии использования нефтяного попутного газа.

Новые технологий глубокой переработки природного газа с производством жидких моторных топлив и широкого спектра химической продукции.

Перспективные технологии глубокой переработки твердых топлив с комплексным использованием минеральной части.

Ожидаемые результаты: определение наиболее рациональных путей повышения эффективности использования добываемых в стране ископаемых органических топлив; создание соответствующего научно-технического задела для разработки передовых технологий, призванных обеспечить существенное увеличение добавленной стоимости в топливных отраслях экономики и экспортного потенциала страны.

7. Эффективное аккумулирование электрической и тепловой энергии:

Перспективные системы накопления электрической энергии большой мощности и емкости, включая сезонные и суточные накопители.

Технологии аккумулирования тепловой энергии, включая сезонные и суточные накопители.

Ожидаемые результаты: перспективные технологии аккумулирования электрической и тепловой энергии для использования в электроэнергетической и теплоснабжающей системах (для «сетевых» нужд), а также индивидуальными потребителями.

8. Водородная энергетика:

Перспективные технологии крупномасштабного производства водорода.

Новые технологии безопасного и эффективного хранения водорода.

Перспективные технологии эффективного использования водорода.

Ожидаемые результаты: перспективные технологии производства, хранения и использования водорода, обеспечивающие крупномасштабный переход к водородной энергетике.

9. Эффективная транспортировка топлива и энергии:

Перспективные технологии передачи электроэнергии на дальние расстояния.

Новые технологии эффективной транспортировки природного газа.

Новые технологии безопасной и эффективной транспортировки водорода.

Ожидаемые результаты: перспективные технологии транспортировки топлива и энергии на дальние расстояния.

10. Интеллектуальные энергетические системы будущего:

Интеллектуальные системы электро- тепло- и газоснабжения, интеграция различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации.

Физическая демонстрация интеллектуальных технологий и средств мониторинга, диагностики и автоматического управления оборудованием и режимами работы сложных энергетических систем в режиме реального времени.

Новые методы и средства обеспечения оптимального уровня надежности и безопасности интеллектуальных энергетических систем, в т.ч. в условиях чрезвычайных ситуаций.

Ожидаемые результаты: качественное повышение управляемости, надежности и эффективности функционирования основных энергетических систем: электроэнергетических, газотранспортных, централизованного теплоснабжения.

11. Эффективное потребление энергии:

Повышение энергоэффективности энергоемких производств.

Здания с минимальным энергопотреблением.

Высокоэффективное электрооборудование и системы управления им.

Новые источники света и интеллектуальные системы освещения.

Интеллектуальные системы управления энергопотреблением технологических процессов и зданий.

Интенсификация процессов тепло- и массообмена.

Ожидаемые результаты: новые технологии, технические средства и методы управления ими, обеспечивающие существенное снижение потерь энергии у конечных потребителей, прежде всего в энергоемких отраслях экономики (металлургии, химической промышленности, машиностроении, транспорте и т. д.), а также в жилищно-коммунальной и социальной сферах.

12. Моделирование перспективных энергетических технологий и систем:

Моделирование физико-химических процессов в энергоустановках.

Моделирование и оптимизация схем и параметров перспективных энергетических установок.

Новые методы и средства системного анализа перспективных энергетических технологий.

Моделирование развития и функционирования энергетических систем.

Моделирование мировой энергетики и мировых энергетических рынков.

Ожидаемые результаты: новые методы, математические модели и вычислительные средства для системного анализа перспективных энергетических технологий, оптимального управления развитием и функционированием больших систем энергетики, обеспечения необходимой надежности и безопасности их функционирования, а также анализа и прогнозирования развития мировой энергетической системы и энергетических рынков; своевременное выявление складывающихся глобальных технологических трендов в мировой энергетике и прогнозирование развития и крупномасштабного применения новых энергетических технологий; получение надежных прогнозных оценок внешнего спроса на первичные и вторичные отечественные энергоносители, позволяющих определить и своевременно скорректировать оптимальную стратегию поведения России на внешних энергетических рынках на долгосрочную перспективу.

13. Разработка прогрессивной электронной компонентной базы для энергетики:

Силовая электроника нового поколения.

Измерительные приборы и средства автоматического регулирования нового поколения.

Микропроцессорная техника нового поколения для нужд энергетики.

Технологии и средства дистанционного управления энергетическим оборудованием.

Ожидаемые результаты: прогрессивная отечественная элементная электронная база силовой и слаботочной электроники для применения в интеллектуальных энергетических системах, перспективных энергетических и энергосберегающих технологиях.

14. Новые материалы и катализаторы для энергетики будущего:

Новые конструкционные материалы и покрытия.

Новые жаропрочные материалы.

Новые радиационностойкие материалы.

Новые токопроводящие и электроизоляционные материалы.

Теплозащитные и теплоизоляционные материалы.

Новые функциональные покрытия трубопроводов.

Новые мембранные материалы с заданным размером пор.

Новые типы катализаторов.

Ожидаемые результаты: новые материалы для перспективных энергогенерирующих, энергопотребляющих и энерготранспортных технологий и систем нового поколения.